

Universitat de Lleida
Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agrària

TREBALL FINAL DE GRAU
GRAU EN ENGINYERIA AGRÀRIA I ALIMENTÀRIA
Enginyeria Rural i Ambiental

ASSAIG COMPARATIU DE TRES ASPERSORS A
PRESSIONS DE 3 I 2 BAR

Autor: Francesc Sabaté Díaz

Tutor: Joaquim Monserrat Viscarri

Setembre 2019

Agraïments

Aprofito aquest apartat per expressar el meu agraïment a una sèrie de persones que han fet possible la realització d'aquest projecte.

Primerament voldria agrair al meu tutor, Joaquim Monserrat, ja que m'ha proporcionat tota l'ajuda necessària per a tirar endavant amb el projecte, amb suggeriments i la seva orientació tècnica.

A totes aquelles persones que s'han brindat a prestar el seu ajut desinteressadament, des dels professors Jaume Arnó, Lluís Cots i Alexandre Escolà, passant per Carles Pedrós qui m'ha ajudat sempre que m'ha fet falta.

També vull agrair a l'Oficina del Regant per facilitar-me i ensenyar-me la manera de fer, i per aportar-me tota la infraestructura necessària per la correcta realització d'aquest projecte.

Per últim, vull agrair molt especialment a totes aquelles persones que no han estat visibles però el seu suport ha significat molt, per poder superar els problemes que anaven sorgint a mida que avançava el projecte, especialment a la família i amics.

Resum

Aquest treball pretén avaluar la viabilitat del reg per aspersió a baixa pressió, és a dir amb una pressió de 200 kPa (2 bar). La motivació per incentivar aquest tipus de reg rau en l'increment del cost energètic que s'està donant en els últims anys, aquest fet pot amenaçar la viabilitat econòmica de les noves instal·lacions de reg.

S'ha realitzat una avaluació experimental on es comparen les uniformitats de reg, obtingudes al treballar amb tres marques diferents d'aspersors, per cada una d'aquestes tenim dos models d'aspersor, un treballa a 300 kPa i l'altre treballa a 200 kPa, sumant un total de 6 models diferents d'aspersors.

Índex

INTRODUCCIÓ	1
1. Situació i evolució del reg a Catalunya i Espanya.....	1
2. Fonaments bàsics del reg per aspersió	5
3. Canvis d'ús de l'aigua	9
4. L'energia en el regadiu	10
5. Reducció de pressió aplicat a una comunitat de regants	13
OBJECTIUS	16
Materials i mètodes	17
1. Avaluació dels assajos realitzats	17
2. Característiques dels aspersors.....	17
3. Avaluació de la uniformitat de reg.....	18
4. Avaluació de la corba de distribució pluviomètrica dels aspersors	25
5. Mesura del vent	26
6. Georeferenciació dels punts de captació de dades	28
7. Generació dels mapes pluviomètrics	28
Resultats i discussió.....	29
1. Anàlisi estadístic de les dades obtingudes	29
2. Avaluació de la corba de distribució pluviomètrica	30
3. Avaluació de la uniformitat de reg en parcel·la	36
4. Comparació dels resultats obtinguts entre aspersors	53
CONCLUSIONS	60
BIBLIOGRAFIA.....	61
ANNEXOS.....	63
Annex 1. Dades meteorològiques Agència Estatal de Meteorologia.....	64
1. Introducció	64
2. Dades facilitades per AEMET.....	64
Annex 2. Resultats de les avaluacions realitzades.	65
Avaluació d'uniformitat, pressió de treball 300 kPa.	65
Avaluació d'uniformitat, pressió de treball 200 kPa.	78

Índex de fotos

Foto 1. Sistema d'aspersió estacionari fix permanent (Cobertura).	6
Foto 2. Sistemes d'aspersió estacionari (Semifix).	7
Foto 3. Sistema d'aspersió de desplaçament continu (Lateral d'avanç frontal).	7
Foto 4. Sistema d'aspersió de desplaçament continu (Canó auto enrotllable).	7
Foto 5. Sistema d'aspersió de desplaçament continu (Pivot).	8
Foto 6. Xarxa principal.....	18
Foto 7. Ramal d'aspersor.	18
Foto 8. Vàlvula de pas i regulador de pressió.	19
Foto 9. Grup de bombament.....	19
Foto 10. Canya porta aspersors.	19
Foto 11. Suport canya d'aspersió.	19
Foto 12. Distribució dels pluviòmetres a la parcel·la.	21
Foto 13. Proveta	21
Foto 14. Embut de filtració.....	21
Foto 15. Manòmetre digital.	21
Foto 16. Anemòmetre.	22
Foto 17. Pluviòmetre.....	22
Foto 18. Distribució dels pluviòmetres a la parcel·la experimental (orientació Nord i Sud).	25
Foto 19. Anemòmetre utilitzat en les mesures de camp.	27
Foto 20. Estació meteorològica de l'AEMET	27

Índex de figures

Figura 1. Zones regables en execució. Font. MAPAMA, maig 2018.	1
Figura 2. Noves zones regables estudiades. Font. MAPAMA, maig 2018.	2
Figura 3. Distribució dels regadius a Espanya 2018. Font. ESYRCE	3
Figura 4. Evolució dels tipus de reg a Espanya. Font. ESYRCE.....	3
Figura 5. Distribució dels regadius a Catalunya. Font. ESYRCE.	4
Figura 6. Evolució dels tipus de regadiu a Catalunya. Font. ESYRCE.....	4
Figura 7. Evolució de l'ús de l'aigua en el sector agrari. Font: INE.....	9
Figura 8. Pressió disponible per gravetat. Font: Estudi de modernització del sector 4 (Col·lectivitat 2 CGR Canals Urgell).	14
Figura 9. Esquema de la instal·lació	18
Figura 10. Esquema de la instal·lació (18 x 18 metres).	20
Figura 11. Distribució dels pluviòmetres dins la zona representativa (18x18m).	20
Figura 12. Pla de simetria i semblança.	23
Figura 13. Esquema de distribució dels pluviòmetres.	25
Figura 14. Anàlisi de les dades mitjançant el programa JMP.	29
Figura 15. Possibles formes de les corbes de distribució d'un aspersor. Font: VIABILITAT DEL REG PER ASPERSIÓ.	32
Figura 16. Superfície de solapament entre dos aspersors.	34
Figura 17. Espaiament màxim entre aspersors en un marc triangular per evitar les àrees sense reg. FONT: Espaciamento entre aspersores, 2019.	35
Figura 18. Localització de la parcel·la d'assajos i l'estació meteorològica (AEMET).	64

Índex de gràfics

Gràfic 1. Valors de pluviometria recollida en les files de pluviòmetres al llarg del radi mullat A1, A2 i A3, pressió 300 kPa.	30
Gràfic 2. Valors de pluviometria recollida en les files de pluviòmetres al llarg del radi mullat A1', A2' i A3', pressió 200 kPa.	31
Gràfic 3. Comparació entre la corba pluviomètrica comercial i la realitzada a ETSEA pel model d'aspersor A2'.2.	33
Gràfic 4. Comparació entre les corbes pluviomètriques assajades en el treball Reg per aspersió a baixa pressió (2017) i les corbes obtingudes en el present treball.	33
Gràfic 5. Variació del CU (%) en front la velocitat del vent V (m/s) en un marc triangular 18x18m, a 300 kPa.	53
Gràfic 6. Variació del volum mig recollit (cm ³) amb la velocitat del vent V (m/s) en un marc triangular 18x18m, a 300 kPa.....	54
Gràfic 7. Variació del Coeficient de variació (CV) amb la velocitat del vent V (m/s) en un marc triangular 18x18m, a 300 kPa.....	54
Gràfic 8. Variació del CU (%) en front la velocitat del vent V (m/s) en un marc triangular 18x18m, a 200 kPa.	55
Gràfic 9. Variació del volum recollit (cm ³) amb la velocitat del vent V (m/s) en un marc triangular 18x18m, a 200 kPa.....	56
Gràfic 10. Variació del coeficient de variació (CV) enfront la velocitat del vent V (m/s) en un marc triangular 18x18m, a 200 kPa.	56
Gràfic 11. Relació entre el Coeficient d'Uniformitat de Christiansen (CU) i la Uniformitat de Distribució (UD).	58

Índex de taules

Taula 1. Eficiència dels diferents sistemes de reg. Font: International Commission on Irrigation and Drainage (ICID).	9
Taula 2. Evolució del consum d'energia de reg a Espanya. Font: AGUA Y ENERGÍA EN EL RIEGO.	10
Taula 3. Necessitats energètiques dels diferents tipus de sistemes de reg. Font: AGUA Y ENERGÍA EN EL RIEGO (Corominas, 2010).....	10
Taula 4. Increment del terme potencia des de l'any 2008 fins al 2013. Font: FENACORE (2013)	11
Taula 5. Característiques dels aspersors de 300 kPa.	17
Taula 6. Característiques dels aspersors de 200 kPa.	17
Taula 7. Comparació entre el solapament dels diferents models d'aspersor en relació els diferents coeficients d'uniformitat.	35
Taula 8. Resum dels resultats de les avaluacions d'uniformitat per a un marc 18x18 metres, a pressió de 300 kPa.	37
Taula 9. Resum dels resultats de les avaluacions d'uniformitat per a un marc 18x18 metres, a pressió de 200 kPa.	45
Taula 10. Resum dels valors de CU mitjos obtinguts en els diferents assajos, en funció de la pressió i el vent.	57
Taula 11. Resum dels valors de CU màxims obtinguts en els diferents assajos, en funció de la pressió i el vent.	57

Taula 12. Resum dels valors de CU mínims obtinguts en els diferents assajos, en funció de la pressió i el vent.	57
Taula 14. Classificació per grups dels diferents models d'aspersor segons el seu coeficient d'uniformitat (CU).	59

INTRODUCCIÓ

1. Situació i evolució del reg a Catalunya i Espanya

El reg ha estat una pràctica habitual a la major part de la península Ibèrica, les primeres infraestructures de les que se'n té constància a l'època romana. Des dels primers regs fins a dia d'avui la innovació i millora no ha deixat d'evolucionar.

No obstant a nivell espanyol no hi va haver un increment notable de la superfície regable fins els anys 40 on les successives administracions públiques van decidir apostar per la transformació dels secans històrics com a estratègia per fomentar el desenvolupament agrari a la península.

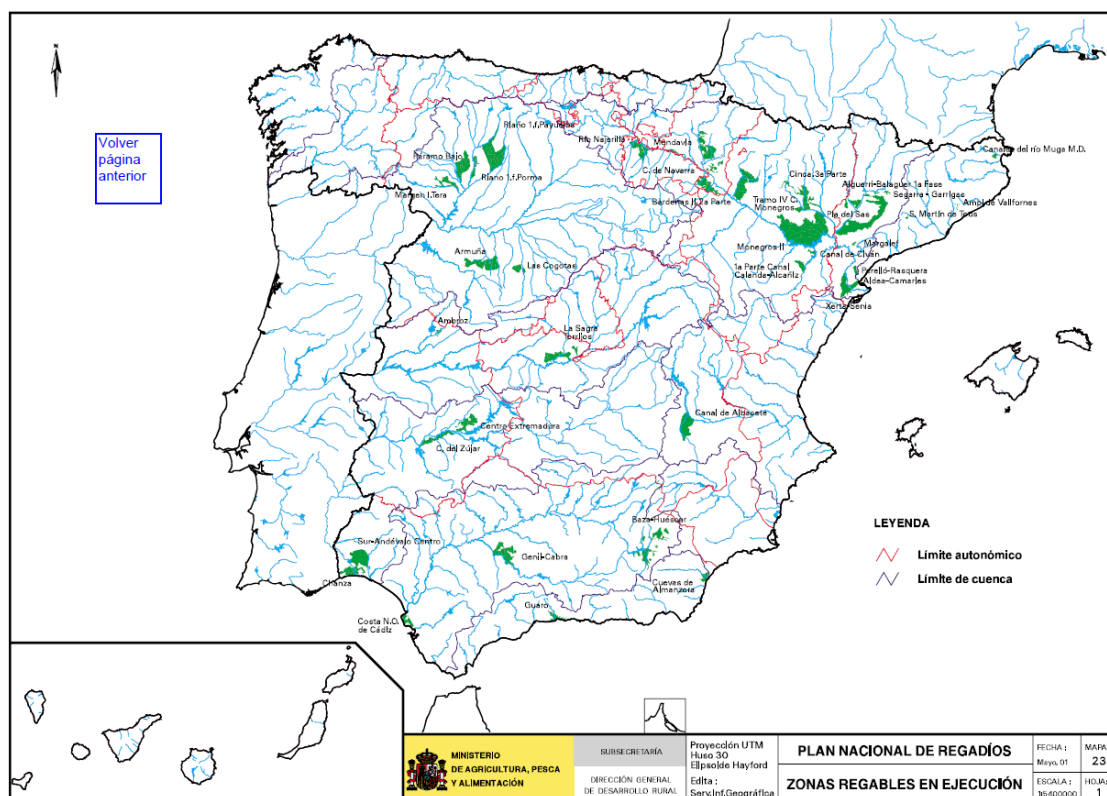


Figura 1. Zones regables en execució. Font. MAPAMA, maig 2018.

De cara el futur d'aquests regadius el govern planteja augmentar la superfície regada, mitjançant l'estratègia 2020, aquestes tenen com objectiu realitzar una gestió intel·ligent, sostenible i integradora dels recursos existents augmentant la competitivitat i l'eficiència d'aquests, tal com podem observar en la figura 1.

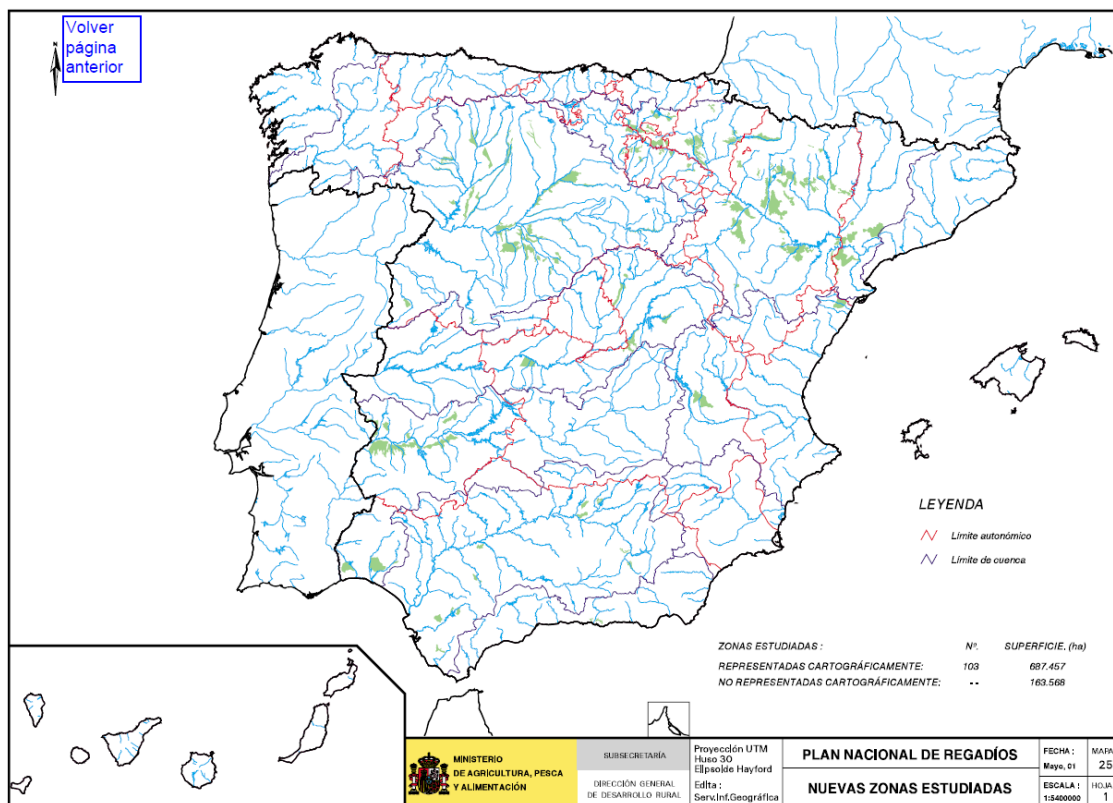


Figura 2. Noves zones regables estudiades. Font. MAPAMA, maig 2018.

La modernització dels regadius a nivell espanyol sempre ha estat en constant evolució, per tal de fer una agricultura competitiva, sostenible i rentable. Al llarg dels últims 50 anys s'han desenvolupat diferents plans d'ajuda per aconseguir aquests objectius, actualment podem veure en la figura 2 les noves zones previstes per ser convertides en reg.

Prenent com a font l'enquesta sobre superfícies i rendiments de cultius (ESYRCE), el total de superfície regada a Espanya el 2018 es quantifica en 3.774.286 hectàrees, sent així el 22,18% de la superfície cultivada, augmentant un 1,08% respecte al 2017 (3.733.695 ha) i un 3,25% respecte el 2016 (3.655.417 ha).

Podem observar el pes que ocupen els diferents tipus de regadiu a Espanya observant la següent gràfica.

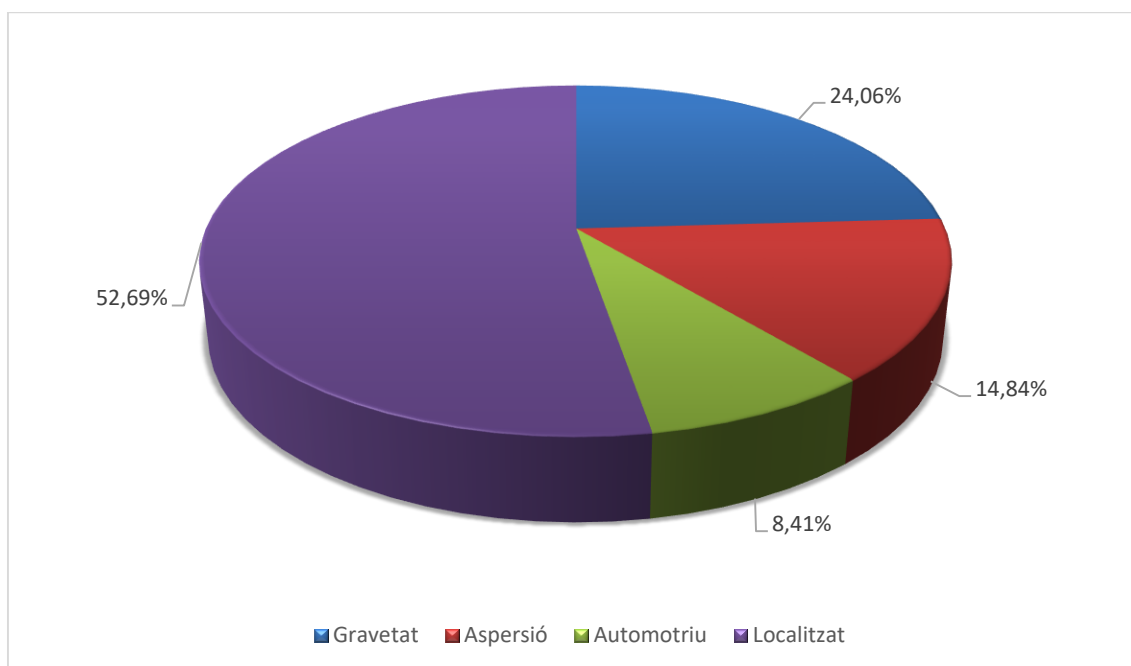


Figura 3. Distribució dels regadius a Espanya 2018. Font. ESYRCE

El reg per aspersió ocupa 560.177 hectàrees, el que seria el mateix, un 14,84% del total de la superfície regada. Si ens fixem en l'evolució que han tingut els diferents sistemes de reg podem observar que any rere any augmenten els sistemes per aspersió.

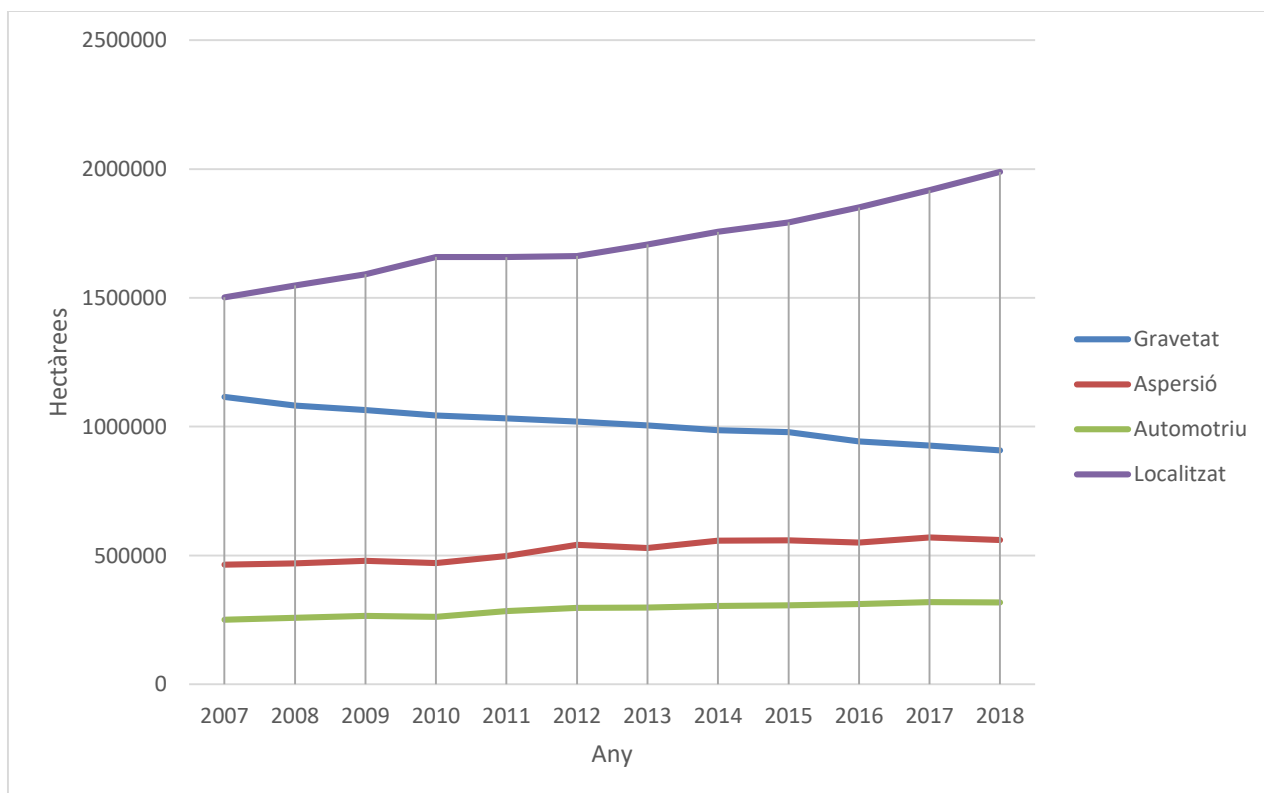


Figura 4. Evolució dels tipus de reg a Espanya. Font. ESYRCE

Aquest increment de la superfície regada a Espanya va acompanyat d'un canvi en l'evolució dels diferents tipus de reg. Si ens fixem amb els diferents tipus de reg veiem que el reg per aspersió tot i disminuir l'any 2018 respecte l'any 2017 presenta un augment mig al llarg dels anys 2007-2018 amb un creixement del 10,24%. En general els sistemes més tecnificats han augmentat el últims anys a diferència del reg per gravetat.

A nivell de Catalunya, podem observar un augment del reg per aspersió des de l'any 2008 on ha passat del 9 al 11% el 2018, el que correspon a passar de 21.597 hectàrees regades a 29.050 hectàrees suposant un augment del 20,21% al llarg d'aquests 10 anys.

Per contra el reg per gravetat tot i tindre més hectàrees de reg ha disminuït del 55 al 48%, el reg localitzat ha augmentat del 32 % al 2008 al 37% al 2018.

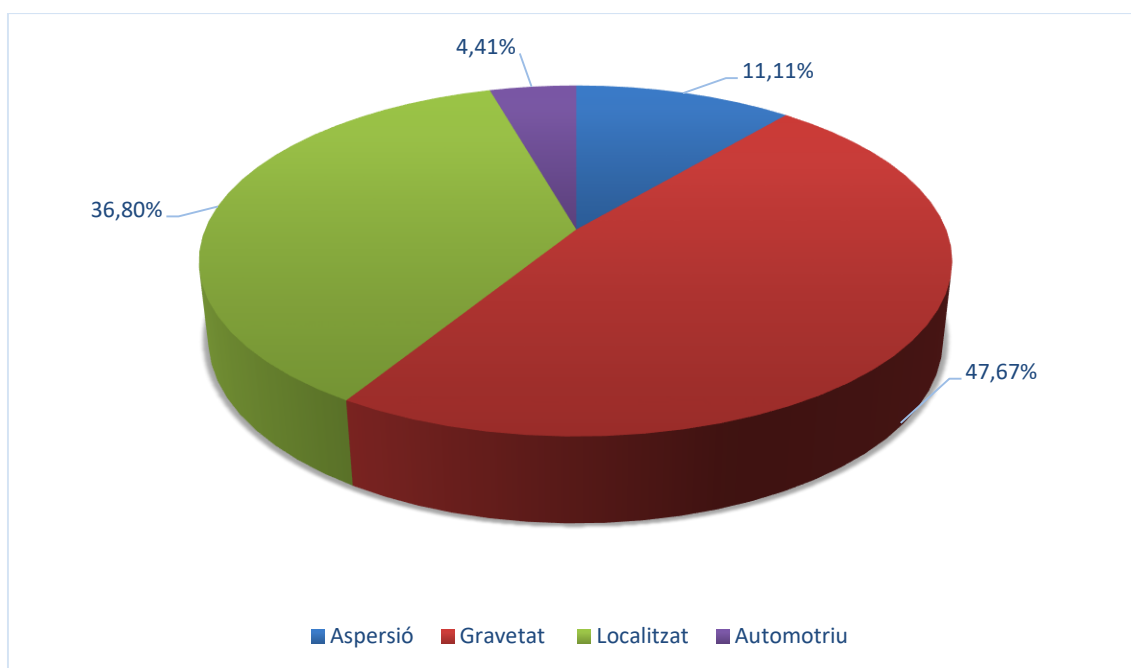


Figura 5. Distribució dels regadius a Catalunya. Font. ESYRCE.

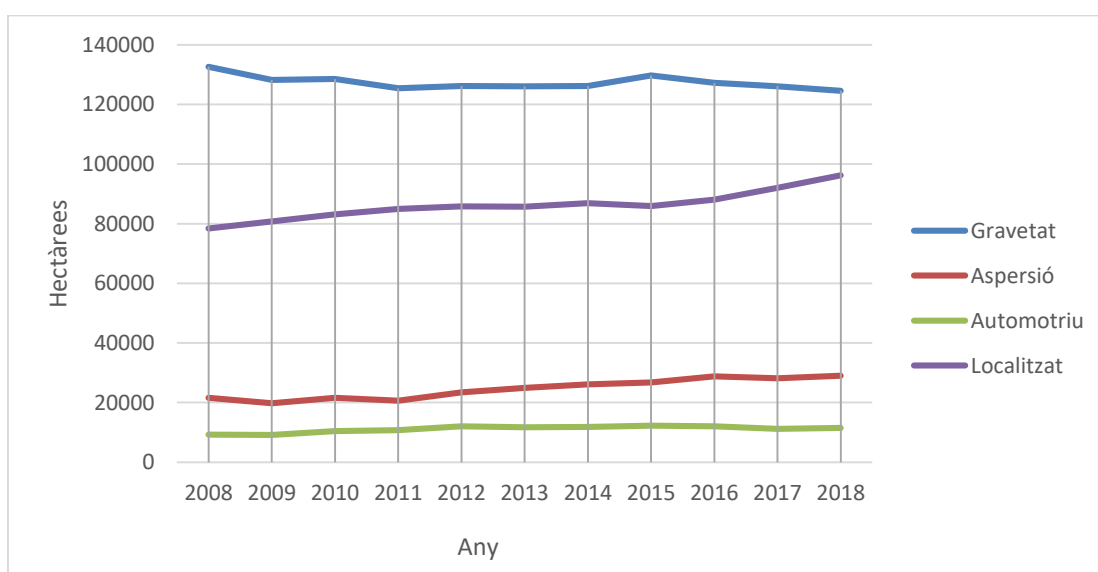


Figura 6. Evolució dels tipus de regadiu a Catalunya. Font. ESYRCE

En la figures 5 observem la distribució dels regadius a Catalunya de l'any 2018, i a la figura 6 podem veure l'evolució dels tipus de reg des del 2008 fins al 2018.

2. Fonaments basics del reg per aspersió

2.1. *Descripció general*

El reg per aspersió es caracteritza per una aplicació d'aigua a través de l'aire en forma d'una pluja uniforme sobre tota la parcel·la amb una intensitat determinada, procurant que la intensitat sigui menor que la capacitat d'infiltració del sòl.

L'aigua surt dels emissors en forma de raig a gran velocitat que s'atomitza degut al fregament amb l'aire formant un conjunt de gotes, distribuïnt-se sobre la superfície del sòl.

L'objectiu que es busca en el reg per aspersió es l'aplicació d'una dosi d'aigua uniformement sobre una àrea desitjada.

Per tal d'assolir aquest objectiu, la pluviometria produïda pels aspersors ha de ser menor que la velocitat d'infiltració del sòl.

2.2. *Avantatges i inconvenients*

El reg per aspersió presenta una sèrie d'avantatges:

- Adaptable a diferents làmines de reg i velocitats d'infiltració.
- Control precís de les dosis (làmines petites).
- No necessita anivellament del terreny, adaptant-se a topografies irregulars.
- Permet l'automatització amb una conseqüent estalvi de ma d'obra.
- Possibilitat d'aplicació de fertilitzants, de fitosanitaris i fins i tot controlar les gelades.
- Bona adaptació en les primeres fases de desenvolupament del cultiu ja que permet regular molt bé la dosi de reg.

No obstant, també té certes limitacions que s'hauran de tindre en compte a l'hora d'escollir aquest tipus de sistema:

- Mala uniformitat d'aplicació per efecte del vent.
- Elevat cost d'inversió inicial i manteniment.
- Al requerir l'ús d'energia suposarà un major cost de funcionament.
- Pot afavorir que en alguns cultius hi puguin haver més riscos de malalties i plagues.
- Amb una mala gestió de la programació es podrien tindre problemes de rentat dels tractaments fitosanitaris.
- Aparició de problemes notables amb l'ús d'aigües salines o residuals, causant d'anys al cultiu.

2.3. *Tipus de sistemes d'aspersió*

Els sistemes de reg per aspersió els podem classificar en dos grans grups: els estacionaris, que romanen fixes mentre es realitza el reg i els de desplaçament continu, aquests es troben en desplaçament mentre es realitza l'aplicació.

Dins dels sistemes estacionaris tenim els mòbils on tots els elements de la instal·lació són mòbils. També trobem els semifixos que tenen fixe l'equip de bombeig i la xarxa de canonades principals, de manera que l'única part mòbil serà on anirà muntat l'hidrants.

Finalment tenim els fixes, que poden ser permanents o be temporals. Els permanents es solen utilitzar en finques on és planteja un cultiu variable en funció de la disposició dels aspersors. En canvi els sistemes temporals es solen muntar a principi de la campanya de reg i es retiren un cop acabada, aquest fet implicarà que els ramals i les canonades estiguin a la superfície.

Pel que fa als sistemes de desplaçament continu podem diferenciar els sistemes pivotants, que consisteixen en una canonada soterrada fins al punt central, des d'aquest punt tindrem una sèrie de torres les quals descriuran un moviment circular al voltant de l'hidrant fix.

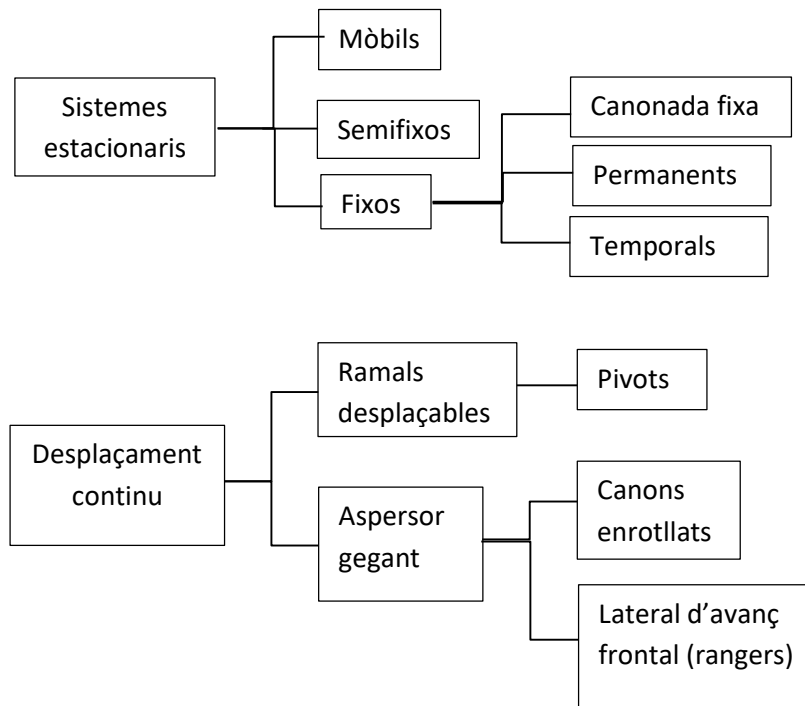


Foto 1. Sistema d'aspersió estacionari fix permanent (Cobertura).



Foto 2. Sistemes d'aspersió estacionari (Semifix).



Foto 3. Sistema d'aspersió de desplaçament continu (Lateral d'avanç frontal).



Foto 4. Sistema d'aspersió de desplaçament continu (Canó auto enrotllable).



Foto 5. Sistema d'aspersió de desplaçament continu (Pivot).

Els sistemes que tenen més us actualment a Espanya són els estacionaris fixes permanents i els de desplaçament continu amb ramals desplaçables (pivots). No obstant això encara hi ha una gran superfície de reg on es rega amb sistemes estacionaris semifixos.

Pel que fa a l'estat d'aquests sistemes es molt variable ja que podem trobar sistemes nous amb un alt grau de modernització i d'altres que estan molt envellits i deteriorats.

La modernització d'aquests sistemes arribarà quan el producte conreat tingui el suficient valor afegit per tal que surti a compte aquesta renovació.

3. Canvis d'ús de l'aigua

Actualment en el sector agrari hi ha certa preocupació per l'ús que es dona a l'aigua, no tan sols per la manca d'aquesta sinó per l'eficiència dels sistemes de reg. Com be sabem si augmentem l'eficiència de reg reduïrem les pèrdues tant econòmiques com energètiques obtenint millores notables.

Els canvis es poden observar en la modernització de les antigues tecnologies de reg, a grans trets tenim dos grans grups de sistemes de reg; el reg per gravetat (potser anomenat a tesa o superficial) aquest és el més utilitzat arreu del món degut a la seva facilitat d'aplicació, tot i això es el menys eficient.

Per contra tenim el reg a pressió, aquest es un sistema relativament modern, es fa mitjançant canonades que distribueixen l'aigua a pressió i normalment s'utilitzen grups de bombament per impulsar l'aigua. Els costos d'implantació del reg a pressió són més elevats, no obstant ens generaran una sèrie d'avantatges de caràcter tècnic.

Sistemes de reg	Eficiència conducció	Eficiència distribució	Eficiència aplicació	Eficiència global
Gravetat	90 %	75 % - 80 %	55 % - 60 %	40 % - 50 %
Aspersió	90 %	85 % - 90 %	65 % - 70 %	55 % - 65 %
Localitzat	90 %	85 % - 90 %	80 % - 85 %	70 % - 80 %

Taula 1. Eficiència dels diferents sistemes de reg. Font: International Commission on Irrigation and Drainage (ICID).

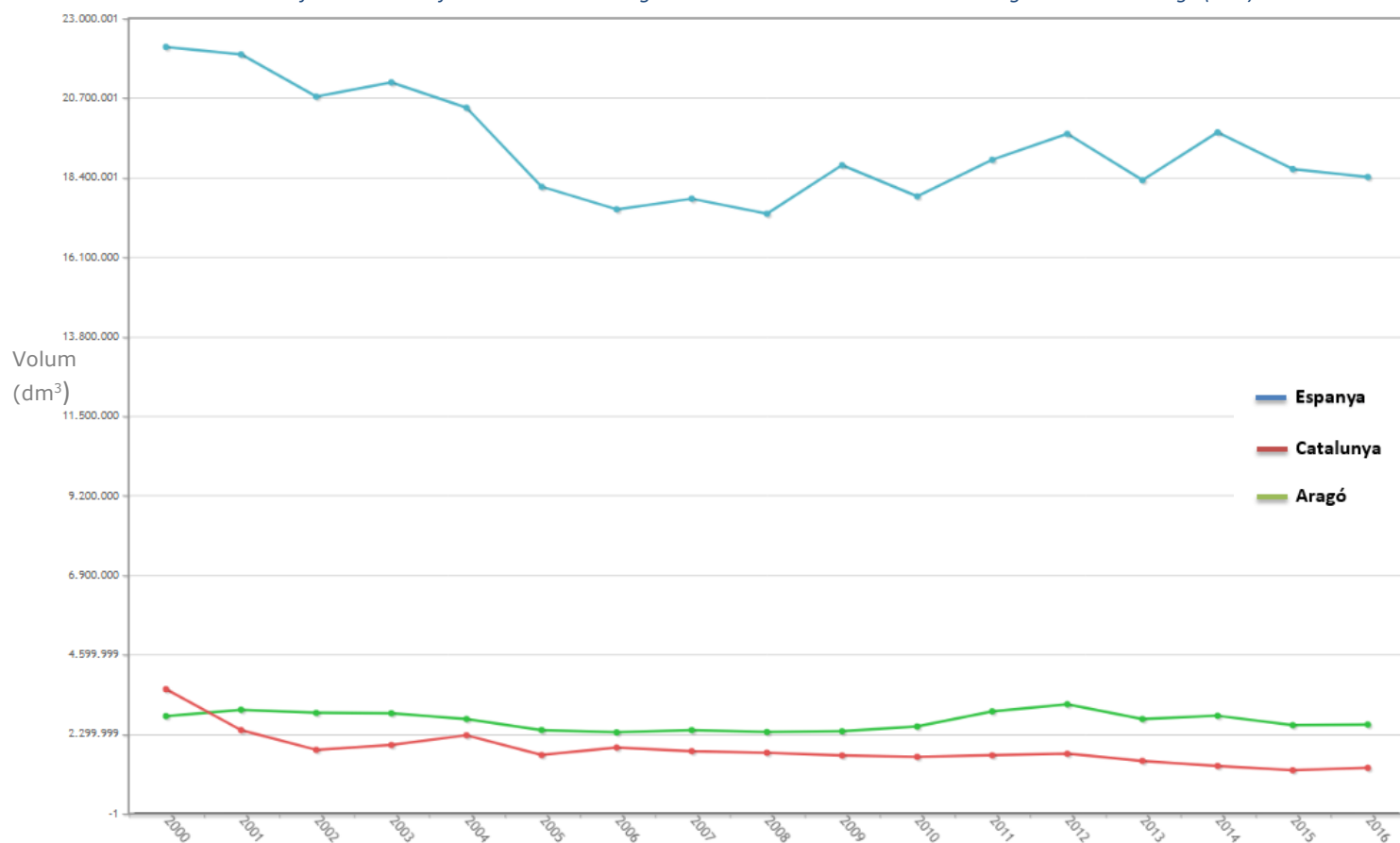


Figura 7. Evolució de l'ús de l'aigua en el sector agrari. Font: INE.

A la figura 7 es pot observar com any rere any el consum d'aigua a Espanya s'ha anat reduint així doncs podem dir que s'estan realitzant millores i modernitzacions en els sistemes de reg, permetent una reducció del consum d'aigua.

4. L'energia en el regadiu

L'expansió dels regadius al llarg de les últimes dècades (figura 7), i en els últims 10 anys la seva modernització, ha fet necessari incrementar l'ús d'energia de captació, transport i distribució d'aigua als cultius. Aquesta transformació ha fet augmentar notablement la superfície total de regadiu passant a ser un 20% de la superfície conreada a Espanya a un 60 % de la producció final agrària.

Any	Superfície (mils d'Ha)	Us de l'aigua (Hm ³)	Consum d'aigua (Hm ³)	Consum d'energia (GWH)
1900	1000	9000	5400	0
1930	1350	12150	7594	182
1940	1500	12750	8288	191
1950	1500	12375	8353	309
1970	2200	17600	12320	1056
1980	2700	20925	14648	2093
1990	3200	24000	17400	3480
2000	3410	23870	18499	4893
2007	3760	2440	20163	5866

Taula 2. Evolució del consum d'energia de reg a Espanya. Font: AGUA Y ENERGÍA EN EL RIEGO.

Podem observar un canvi substancial en relació a l'ús de l'aigua i l'energia al llarg de l'últim segle, en el període que va del 1950 al 2007 la superfície de regadiu s'ha multiplicat per 2,5 i els consums energètics per fer-ho possible per 19, requerint actualment de l'ordre de 2000kwh/ha i 0,30 kWh/m³, de mitja (Corominas, 2010.).

	Energia consumida (kWH/HA)
Gravetat	397
Aspersió i automotriu	2262
Localitzat	2397
TOTAL	5056
% Total sobre l'energia elèctrica a Espanya	2,17

Taula 3. Necessitats energètiques dels diferents tipus de sistemes de reg. Font: AGUA Y ENERGÍA EN EL RIEGO (Corominas, 2010).

En la taula 3, podem observar les necessitats energètiques dels diferents sistemes de reg. Com a dada d'interès l'energia que consumeix l'agricultura es un 2,17 % sobre el consum total a nivell Espanyol.

El cost de l'energia elèctrica ha anat augmentant any rere any degut al augment de preu dels combustibles fòssils.

A més a més, aquest increment del preu de l'energia s'ha vist agreujat degut a l'alliberament del mercat elèctric. Al 2008 s'inicia una nova forma de comercialització de l'energia, passant d'una tarifa específica per al regadiu denominada "R", els preus s'establien a través del Ministeri d'Indústria, on els preus variaven lleument. Al juliol de 2008 entra en vigor la nova normativa

del preu de l'energia on s'alliberen els mercats elèctrics, això vol dir que els usuaris s'hauran d'encarregar de buscar la tarifa més adient per ells, portant-los al mercat lliure on s'han de negociar les condicions del contracte ofert per les diverses companyies elèctriques. A priori aquesta alliberació tenia que suposar un desens dels preus de l'energia, tanmateix va provocar el contrari, hi va haver un augment notable en la facturació de les comunitats de regants o bé col·lectivitats de regants.

Per altra banda en les comunitats de regants el preu de l'electricitat consta de dos paràmetres; el terme de potencia (aquest és regulat pel Ministeri d'Indústria, publicat al BOE semestralment) i el terme d'energia (aquest es negocia al mercat lliure i te una vigència d'uns 6 mesos aproximadament). El terme de potencia es fix, no varia, per contra el terme d'energia es factura en funció del consum i te un percentatge de facturació que supera el 80% de l'import de la factura.

No obstant el terme de potencia és el que ha sofert un creixement més elevat des de juliol de 2008 fins al gener de 2010, podríem estar parlant d'un creixement del 468% (Ederra-Murugarren, 2010). En la taula 4 podem observar l'increment del preu de potencia des de que van desaparèixer les tarifes "R", fins al preu d'ordre IET/1491/2013:

Tarifa	Preu €/kW x any amb tarifa R	Preu €/kW x any amb la IET 2013	Augment (%)
6.1	7,7730	105,3994	1356
6.2	7,3843	59,6126	807
6.3	6,9957	50,8902	727

Taula 4. Increment del terme potencia des de l'any 2008 fins al 2013. Font: FENACORE (2013)

Trobem un altre exemple de l'encariment de l'energia elèctrica més enfocat a les comunitats de regants en la recerca feta per Ederra i Murugarren (2010) on comparen la facturació entre el 2005 i el 2009 en una zona de regadiu de Navarra, corroboren un increment d'un 37% entre el terme de potencia i un 66% en el terme d'energia, amb un augment total de la facturació d'un 82%.

Normalment a l'hora de realitzar una modernització dels regadius no es prestava massa atenció en l'energia necessària per a fer possible el funcionament d'aquestes, normalment és buscava la reducció de ma d'obra i l'eficiència en l'ús de l'aigua. Cal dir que l'agricultura de regadiu a Espanya ha estat el segon consumidor d'energia elèctrica, sent un 2,73% de l'energia elèctrica nacional (Corominas, 2010).

Per afrontar aquest handicap, les comunitats de regants s'han hagut d'afanyar per trobar la millor solució per sufragar aquesta pujada de preus amb el creixent consum energètic. Buscant mesures de caràcter administratiu (baixada d'impostos, adaptació de tarifes a patrons de regadiu, noves ajudes publiques, mesures d'incentivació de l'ús d'energies renovables...) i de caràcter tècnic (realitzar els regs en períodes tarifaris més barats, reducció de la pressió de treball, ajust al màxim de les pressions de bombament intentant treballar amb pressions naturals...).

Amb aquestes circumstancies la mesura que pren més importància amb el present treball es la reducció de l'energia elèctrica amb l'ús de sistemes de reg a baixa pressió, específicament en els sistemes de reg per aspersió a baixa pressió.

4.1. El futur de l'energia en el sector agrari

Com bé sabem les necessitats energètiques de les xarxes de regadiu modernes és molt gran i, en un país on l'energia no és barata, és un factor a tindre en compte. Si al consum li sumem el terme de potència, que es paga tant si es consumeix com si no, el pes de la factura elèctrica es transforma en un factor econòmic limitant per a la viabilitat dels regadius moderns a pressió.

Per tant, un dels elements clau és la reducció del cost de l'electricitat; cal buscar alternatives al subministrament convencional d'energia per reduir-ne la factura i millorar i assegurar la viabilitat de moltes explotacions agràries.

Una alternativa a la dependència elèctrica pot ser el bombament solar, si bé pot resoldre, en part, el problema de la factura elèctrica, també representa un canvi en la manera de treballar. Aquest canvi no és immediat i necessita un període d'adaptació a un nou model que, per al seu bon funcionament i viabilitat, necessita fer coincidir els moments de màxim consum d'aigua amb els moments de màxima producció d'energia per maximitzar l'aprofitament de la instal·lació i, per tant, de la inversió.

El país en el que estem, on l'energia provinent del sol és un recurs renovable de primer ordre, cal saber desenvolupar-la i aprofitar-la per tal de poder aplicar aquesta tecnologia als regadius, i poder avançar cap el futur més pròxim, tal com marca la Comissió Europea en l'Estratègia "Energia Neta per a tots els Europeus" presentada l'any 2016, basada en les energies renovables i l'eficiència energètica, i les Bases de la Transició Energètica que va aprovar el Govern el gener de 2017, que estableixen un nou model energètic basat en un 100% d'energies renovables l'any 2050.

Actualment l'Oficina del Regant ofereix a les Comunitats de Regants els serveis per dur a terme gratuïtament l'estudi per conèixer la tarifa i la potència elèctrica a contractar, i també recomanacions en la gestió i millora de l'eficiència dels equips. Fins avui, s'han elaborat més de 40 estudis, amb un estalvi de la factura elèctrica de més del 23%, amb un valor anual de 370.000 euros més IVA.

Atenent la normativa actual, es plantegen 3 principals tipologies d'instal·lacions d'autoconsum:

1. Instal·lacions interconnectades, amb connexió física amb la xarxa de distribució elèctrica, les quals estan subjectes al RD 900/2015.
2. Instal·lacions desconnectades de la xarxa de distribució, també anomenades aïllades, no subjectes a l'esmentat RD.
3. Instal·lacions connectades hidràulicament però parcialment aïllades elèctricament. En aquest cas, part de les bombes estan connectades a la xarxa de subministrament elèctric i una altra part s'abasten per la planta de generació fotovoltaica. Aquesta tipologia d'instal·lacions no estan subjectes al RD 900/2015 (Energia i regadiu. Bombament solar. (Març, 2019).

5. Reducció de pressió aplicat a una comunitat de regants

El fet de reduir la pressió a una comunitat de regants suposaria una sèrie d'avantatges clars tant en la reducció del cost econòmic d'instal·lació com el cost energètic requerit per bombar l'aigua.

No obstant s'ha de tindre en compte el següent; no tots els nous regs d'aspersió s'hauran de realitzar sempre a baixa pressió, s'haurà de contemplar aquesta possibilitat sempre i quant la geografia del terreny ho permeti, es per això que s'han d'estudiar les peculiaritats del terreny en cada cas.

En alguns casos aquesta baixada de pressió no ens permetrà regar una parcel·la sencera degut a les variacions del terreny, en aquest cas s'haurà de realitzar una sectorització de la parcel·la per tal de reduir el màxim la superfície que requerirà el bombament de l'aigua.

Una altre implicació important a l'hora de realitzar el disseny de les xarxes de reg comunitàries és que, al disminuir la pressió de treball a 200 kPa, es pot augmentar la superfície de reg sense la utilització de sistemes de bombament.

Durant els últims 5 anys s'han començat a realitzar els primers projectes per tal de modernitzar diferents superfícies, ja sigui per augmentar la superfície regable o per fer-les regables. Es va realitzar un estudi per part d'Infrastructures.cat per tal d'estudiar la viabilitat de modernització d'una superfície de 3.700 ha de la col·lectivitat nº 2 dels Canals d'Urgell.

A l'hora de realitzar aquest estudi es va tindre en compte la reducció de pressió de reg, concloent que no era necessari el bombament per al 23% de la superfície, concretament per a 850 ha.

El la imatge que es mostra a continuació podem observar la superfície compresa per la col·lectivitat 2 del canal d'Urgell, el 24% de la superfície disposa d'una pressió inferior a 20 mca, per tant s'ha de bombar l'aigua per assegurar un reg òptim, el 53% de superfície disposa d'una pressió superior a 35 mca per tant no es requereix de bombament i finalment el 23 % restant disposa d'una pressió d'entre 20 i 35 mca, si tenim en compte els criteris de baixa pressió estudiats no seria necessari la instal·lació d'un grup de bombament.

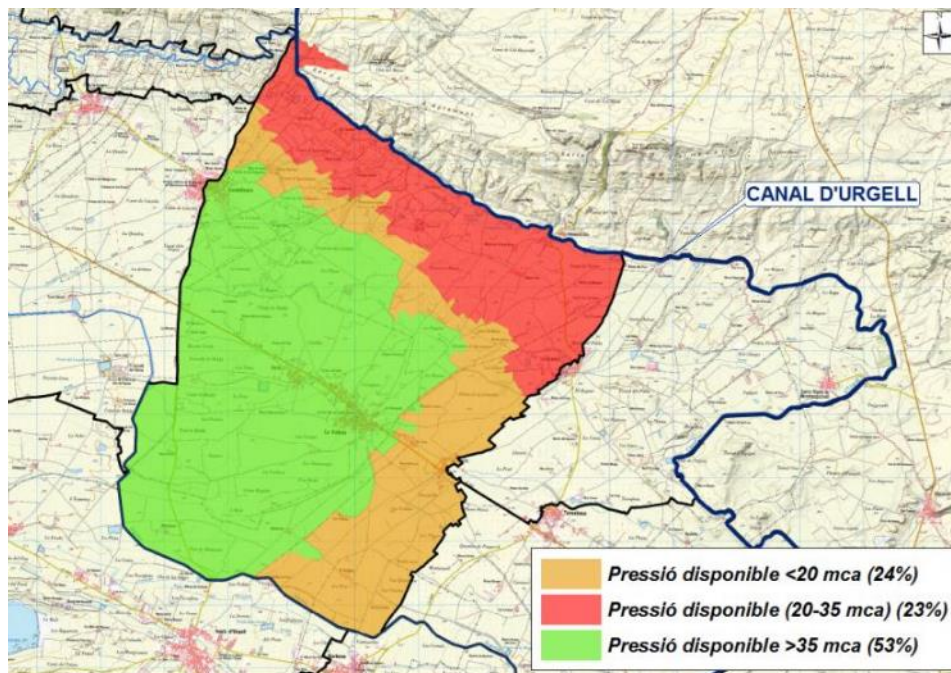


Figura 8. Pressió disponible per gravetat. Font: Estudi de modernització del sector 4 (Col·lectivitat 2 CGR Canals Urgell).

Utilització de l'energia elèctrica

En el cas de les comunitats de regants a l'englobar una gran superfície regable no podem prescindir de la utilització de l'energia elèctrica, es per això que en les últimes dècades s'estan buscant alternatives a la utilització de l'energia convencional, modernitzant les infraestructures per tal de buscar una major eficiència energètica i una reducció econòmica de la factura elèctrica.

Degut a l'augment considerable del preu de l'energia en els últims anys esta incentivant l'interès per la utilització d'altres tipus d'energies no convencionals, com ara l'energia solar. Com be sabem en el nostre país es donen unes condicions climàtiques idònies per a poder obtenir un màxim aprofitament d'aquest recurs natural.

5.1. Normativa vigent

Actualment la normativa vigent es regula a partir del real decret 900/2015, aquest engloba i regula les accions administratives, tècniques i econòmiques relacionades amb l'autoconsum.

Aspectes a tindre en compte per respectar el real decret (RD) en el cas de plantejar la instal·lació d'un sistema de bombament solar.

- Solament es pot aplicar en instal·lacions connectades a la xarxa elèctrica.
- Limitació de la potencia generada a la potencia contractada per l'usuari. Conseqüentment no es pot contractar una potencia mínima i estar produint una gran potencia a traves de la planta fotovoltaica.
- El present RD no permet el balanç net anual, sinó que l'energia que es facturarà serà la diferencia entre la produïda i aportada a la xarxa i l'energia utilitzada de la xarxa.

5.2. Situació actual dels bombaments solars.

En els últims anys l'energia fotovoltaica ha començat a agafar embranzida, situant-se en molt bon lloc en el mercat, aquest fet ha estat gracies a la demostració de de la seva solidesa i fiabilitat, acompanyat d'un descens en el preu del cost de les plaques fotovoltaiques. Si també tenim en compte la reducció de l'impacte ambiental, fan d'aquesta tecnologia molt interessant i competitiva en vers les tecnologies tradicionals.

Actualment el major nombre de bombaments solars són instal·lacions aïllades que s'han transformat passant d'usar grups electrògens a sistemes de fotovoltaics. Realitzant un estudi previ per tal de determinar la viabilitat de la reforma, obtenint uns períodes de retorn d'entre 5 i 7 anys. Aquestes instal·lacions es poden trobar principalment a la zona de Múrcia, Alacant, Catalunya i Aragó.

5.3. Viabilitat dels bombaments elèctrics

La viabilitat d'aquest tipus de bombaments vindrà molt marcada pel resultat obtingut en l'estudi de viabilitat d'inversió a l'hora de realitzar el projecte, pel que fa als sistemes de bombament actuals disposen de sistemes d'adaptació.

Aquest estudi de viabilitat es realitzarà comparant el bombament solar en vers d'altres sistemes de subministrament d'energia tradicionals, d'aquesta manera es podrà avaluar el període de retorn de la inversió, determinant la viabilitat de la inversió per la part tècnica com per la part econòmica.

OBJECTIUS

Aquest treball experimental sorgeix de la col·laboració amb l'oficina del regant i ETSEA.

L'objectiu principal d'aquest, és conèixer quina és l'influència que té la pressió en la uniformitat de reg d'un sistema per aspersió estacionari fix permanent (cobertura fixa). També s'estudiarà quina serà la repercussió d'una baixada de la pressió de treball en conjunt, aplicat a una comunitat de regants.

Concretament es volen determinar els nivells d'uniformitat de reg amb dos tipus d'aspersors que actualment els trobem disponibles en el mercat i amb un marc de reg típic de les noves zones de transformació del reg a la vall de l'Ebre. Es faran assajos a dos pressions diferents, una serà la pressió típica de treball en aspersió 300 kPa i l'altre serà de 200 kPa, d'aquesta manera podrem determinar si hi ha diferències significatives en la uniformitat.

Per tal de poder determinar si és factible aquesta baixada de pressió realitzarem el següent:

- Estudi experimental, on es mostraran els resultats de les avaluacions dutes a terme. Es definiran les corbes de distribució pluviomètrica dels aspersors emprats i els resultats de les avaluacions d'uniformitat de reg realitzades en funció de la pressió i el model d'aspersor utilitzat.

Materials i mètodes

1. Avaluació dels assajos realitzats

En el present treball s'han realitzat dos tipus d'avaluacions, primer de tot s'han realitzat una sèrie d'avaluacions on s'ha determinat la uniformitat de reg a un mateix marc, per 6 aspersors diferents, 3 d'aquests treballant a 300 kPa i els altres tres treballant a 200 kPa.

En segon lloc s'han realitzat avaluacions on s'ha treballat amb aspersors individuals, per tal de conèixer el patró de pluviometria.

2. Característiques dels aspersors

En el present treball trobarem els diferents aspersors classificats amb una nomenclatura especial sense saber el nom comercial per motius de confidencialitat.

Tos els aspersors amb els quals s'ha treballat són de dos broquets, aquest tipus d'aspensor ens proporcionarà uns millors valors de coeficient d'uniformitat (CU) a diferència si es treballa amb una sol broquet (Tarjuelo et al. (2005)).

	Pressió de treball (300 kPa)
Aspensor 1 (A1.3)	Broquet principal de 4,5 + secundari de 2,5.
Aspensor 2 (A2.3)	Broquet principal de 5,1 + secundari de 2,5.
Aspensor 3 (A3.3)	Broquet principal de 4,4 + secundari de 2,4 (sencer).

Taula 5. Característiques dels aspersors de 300 kPa.

	Pressió de treball (200 kPa)
Aspensor 1 (A1'.2)	Broquet principal de 5,0 + secundari per 2,5.
Aspensor 2 (A2'.2)	Broquet principal de 4,76 + secundari de 2,5.
Aspensor 3 (A3'.2)	Broquet principal de 4,4 + secundari de 2,4 (partit).

Taula 6. Característiques dels aspersors de 200 kPa.

3. Avaluació de la uniformitat de reg

3.1. Metodologia seguida a camp

Quan treballem amb un sistema de reg es important saber si l'aigua que s'aplica es reparteix de manera uniforme, ja que una bona uniformitat ens garanteix un ús més eficient de l'aigua, permetent maximitzar els rendiments del conreu.

Les avaluacions de reg en camp són d'elevat interès, d'aquesta manera podem determinar la distribució d'una forma pràctica a la parcel·la. En el nostre cas els assajos s'han dut a terme en una parcel·la de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària de la Universitat de Lleida (latitud 41°37' N, longitud 0°35' E, altitud 183 metres).

Per tal de desenvolupar aquestes avaluacions disposem d'una instal·lació realitzada pel Departament d'Agricultura, Pesca, Alimentació i Medi Natural (DAAM) que consta d'una xarxa principal formada per canonades de polietilè i uns ramals secundaris

que transporten l'aigua des de la canonada principal fins l'entrada de les canyes d'aspersors. Els aspersors és mantenen subjectes al terreny mitjançant una placa metàl·lica que fa de suport de les canyes dels aspersors, les canyes estan fetes d'acer galvanitzat i tenen una alçada de 3 metres i un diàmetre de $\frac{3}{4}$ de polsada.

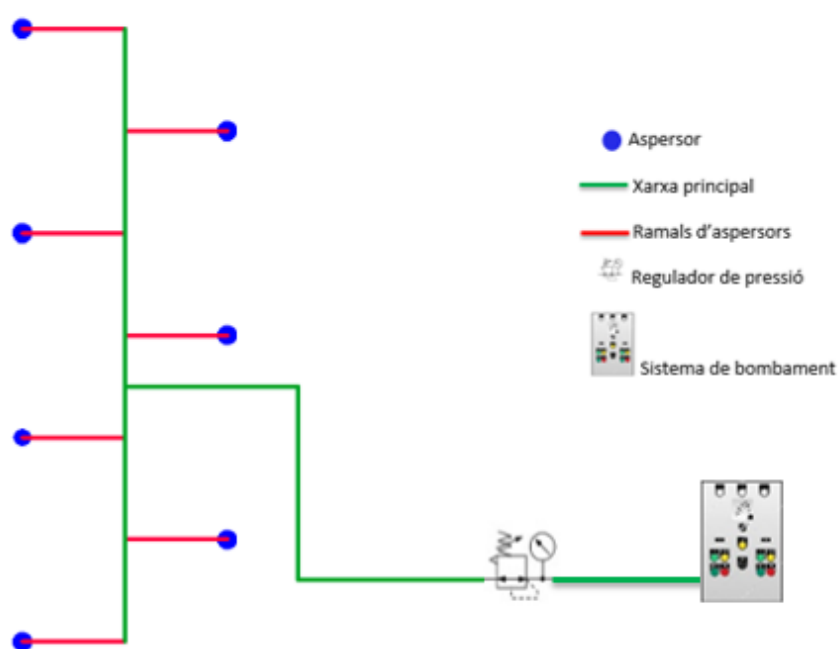


Figura 9. Esquema de la instal·lació



Foto 6. Xarxa principal.



Foto 7. Ramal d'aspersor.



Foto 8. Vàlvula de pas i regulador de pressió.



Foto 9. Grup de bombament.



Foto 10. Canya porta aspersors.



Foto 11. Suport canya d'aspersió.

La unitat representativa de la instal·lació està formada per 7 aspersors, un ramal de 4 i un ramal de 3 aspersors, formant un marc triangular de 18 m x 18 m.

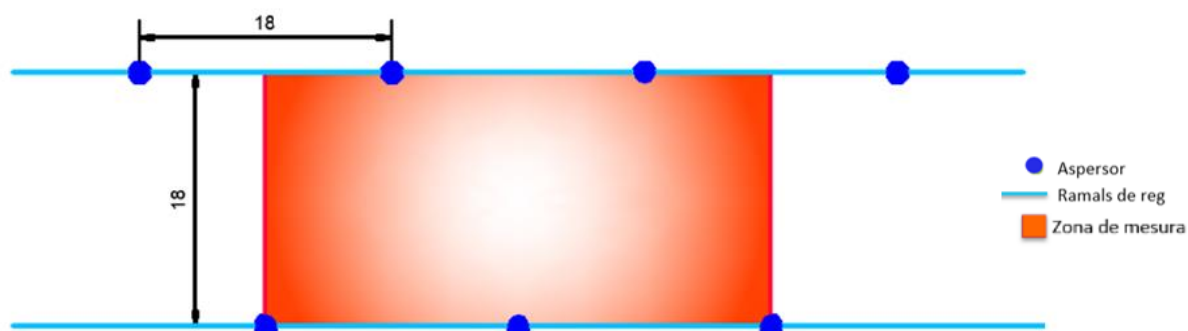


Figura 10. Esquema de la instal·lació (18 x 18 metres).

Dins l'àrea d'assaig s'han establert 5 aspersors, 2 del primer ramal i 3 al segon.

Les avaluacions s'han realitzat amb 6 models d'aspersors, els quals no es nombraran per tal de mantenir la confidencialitat del fabricant, evitant comparacions entre les diferents cases comercials. El que sí que podem dir és que són aspersors d'impacte, de plàstic, de dos broquets i dins d'aquests 6 models en tindrem 3 que treballen a una pressió de sortida fixada a 200 kPa i els altres 3 treballen a una pressió de sortida fixada a 300 kPa. Per tal de poder variar aquesta pressió en el moment que desitgem tenim instal·lat un regulador de pressió al sistema.

Per realitzar l'avaluació d'uniformitat es col·locarà una seguit de pluviòmetres formaran una xarxa de 3 x 3 metres dins la zona d'estudi.

Els pluviòmetres utilitzats segueixen la norma EN-134742-2-2006, aquesta diu que han de ser de forma cilíndrica i de mida uniforme, amb una vorera aguda i sense deformacions, tenint una altura mínima de 12 cm i un diàmetre mínim de 8,5 cm, sempre serà millor treballar amb unes mides més grans per evitar possibles moviments d'aquests.

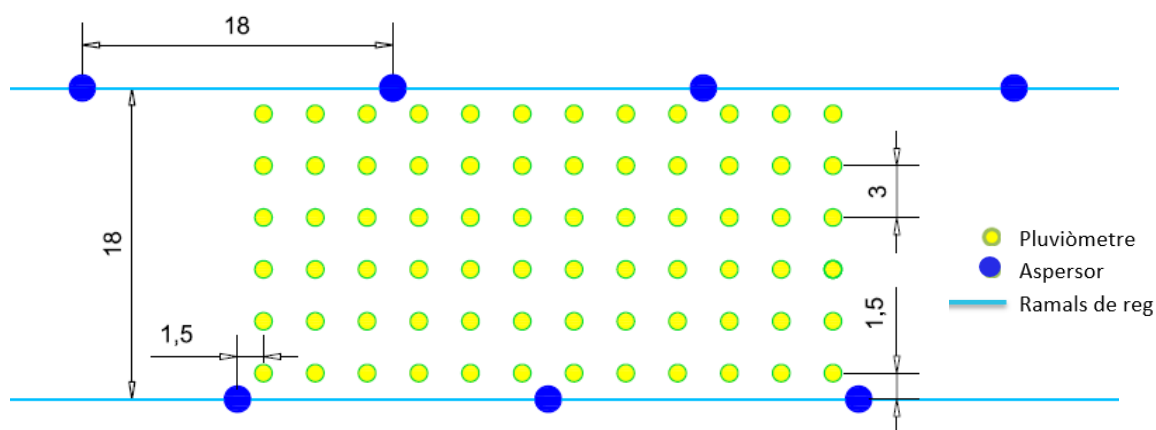


Figura 11. Distribució dels pluviòmetres dins la zona representativa (18x18m).



Foto 12. Distribució dels pluviòmetres a la parcel·la.

3.2. Material utilitzat

El material utilitzat per realitzar les proves ha estat el següent:

- Provetes de 250 cm³ amb una precisió de 2 cm³.
- Embut de plàstic
- Manòmetre digital per mesurar amb una alta precisió la pressió a la sortida dels aspersors.
- Anemòmetre manual d'hèlix per poder prendre lectures de vent instantànies.
- 72 pluviòmetres cilíndrics de 18,5 cm d'altura i 18 cm de diàmetre.
- Bloc de notes.



Foto 13. Provetes



Foto 14. Embut de filtració.



Foto 15. Manòmetre digital.



Foto 16. Anemòmetre.



Foto 17. Pluviòmetre.

3.3. Procediment seguit

Per realitzar aquestes proves s'ha seguit el procediment que estableixen les normes UNE-68-072-86, UNE-EN-13742-1 i 2 ISO 7749-1 i 2. Obtenint el següent:

1. Realitzar una inspecció a simple vista dels components del sistema, per veure si hi ha cap anomalia (fugues, trencadures...).
2. Posada en marxa de l'equip de bombeig, obertura manual de l'hidrant i de la vàlvula hidràulica.
3. Regulació de la pressió del sistema ajustant-la a la pressió de 200 kPa o 300 kPa segons el cas.
4. Aturada momentània del reg i col·locació dels vasos pluviomètrics a la distància i orientació adequades.
5. Posada en funcionament del reg durant un temps d'una hora (60 minuts).
6. Mesura i anotació de la velocitat del vent (km/h) a l'inici i al final de la prova.
7. Mesura i anotació de la pressió (mca) en la sortida del aspersor.
8. Aturada total del sistema de reg (equip de bombeig, hidrant i vàlvula hidràulica).
9. Mesura del volum d'aigua (cm³) dels vasos pluviomètrics.
10. Recollida/Anotació de les dades per al posterior tractament dels resultats.

3.3. Terminologia utilitzada

En referencia als temes d'uniformitat que analitzarem en les avaluacions no hi ha una terminologia única i exclusiva, es per això que s'ha determinat utilitzar la utilitzada per Merriam i Keller (1978), Merriam (1980) ja que es una de les més utilitzades i acceptades de forma generalitzada, d'aquesta manera evitem ambigüitats i possibles confusions amb d'altres terminologies.

Els paràmetres analitzats després obtindre les dades de camp han estat els següents:

Coefficient de variació (CV)

La matriu de pluviòmetres creada a camp presenta una simetria tal com podem observar en la figura 12, sabent això es podrà avaluar el coeficient de variació per semblança dels volums recollits dels pluviòmetres dins dels dos blocs.

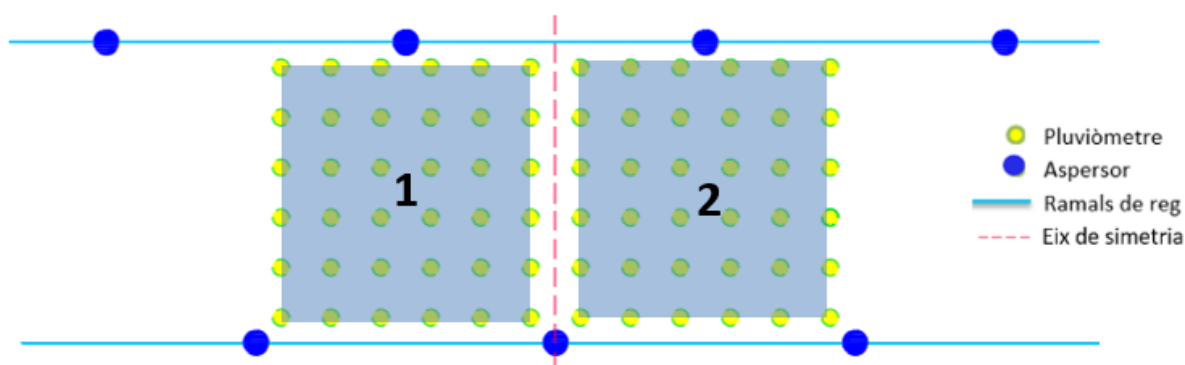


Figura 12. Pla de simetria i semblança.

Per tal de determinar les diferències absolutes entre pluviòmetres s'ha comparat la pluviometria de cada un d'aquests en els punts simètrics dels dos plans. D'aquesta manera s'ha obtingut la desviació típica i la mitjana de les diferències calculades en valor absolut.

Tenint la següent expressió per calcular el coeficient de variació:

$$CV (\%) = \frac{\sigma}{\bar{s}} \times 100$$

On:

σ : desviació típica de les diferències absolutes en cm^3 .

Obtenint l'arrel quadrada de la variància:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

x_i : volum d'aigua recollit en cada pluviòmetre, en cm^3 .

\bar{x} : volum mig d'aigua recollida en l'agrupació de pluviòmetres, en cm^3 .

n : nombre de pluviòmetres que intervenen en l'avaluació.

\bar{s} : mitjana, en cm^3 .

En un cas ideal si els dos blocs fossin completament simètrics s'hauria d'obtenir un $CV=0$, no obstant és molt difícil obtenir aquest valor ja que podem tindre diferents tipus d'errors, com ara l'error experimental degut al vent i per la col·locació vertical dels pluviòmetres.

Uniformitat de distribució (UD)

S'obté a partir de les dades de camp, és un bon indicador de la correcta aplicació de l'aigua a camp.

$$UD (\%) = \frac{V_{25\%}}{\bar{V}} \times 100$$

On:

$V_{25\%}$: volum mig d'aigua recollida en el 25% dels pluviòmetres amb menys aigua, en cm^3 .

\bar{V} : volum mig d'aigua recollida en tots els pluviòmetres, en cm^3 .

Coefficient d'uniformitat de Christiansen (CU)

Coefficient desenvolupat per Christiansen (1942), correspon a una representació estadística de la uniformitat.

$$CU (\%) = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n \times \bar{x}}\right) \times 100$$

On:

x_i : volum d'aigua recollit en cada pluviòmetre, en cm^3 .

\bar{x} : volum mig d'aigua recollida en tots els pluviòmetres, en cm^3 .

n : nombre total de pluviòmetres que tenim en l'assaig.

4. Avaluació de la corba de distribució pluviomètrica dels aspersors

4.1. Metodologia seguida a camp

Per poder fer una bona caracterització de la distribució i la uniformitat de la cobertura de reg, estudiarem el patró de distribució de l'aigua a través del radi mullat dels aspersors.

En el cas teòric on no tenim presència de vent, obtindríem una corba de distribució que seguiria una forma circular, igual en totes les direccions de l'aspersor. No obstant l'efecte del vent ens farà variar aquesta corba en funció de la direcció i velocitat d'aquest.

Per aquest motiu s'ha realitzat la distribució de l'aigua dels aspersors (radi mullat) efectuant diverses avaluacions de forma aïllada a la mateixa parcel·la.

Per cada avaluació s'ha format una fila amb 18 pluviòmetres equidistants 1 metre des de la canya del aspersor. En total s'han realitzat 6 avaluacions, 1 per cada tipus d'aspersor i utilitzant les dos pressions de treball. L'orientació dels pluviòmetres era seguint els punts cardinals nord i sud.

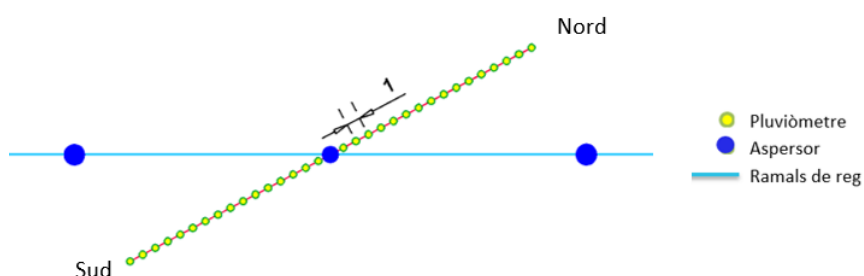


Figura 13. Esquema de distribució dels pluviòmetres.



Foto 18. Distribució dels pluviòmetres a la parcel·la experimental (orientació Nord i Sud).

4.2. Material utilitzat

El material que s'ha utilitzat ha estat el següent:

- Provetes de 250 cm³ amb una precisió de 2 cm³.
- Embut de plàstic
- Manòmetre digital per mesurar amb una alta precisió la pressió a la sortida dels aspersors.
- Anemòmetre manual d'hèlix per poder prendre lectures de vent instantànies.
- 36 pluviòmetres cilíndrics de 18,5 cm d'altura i 18 cm de diàmetre.
- Bloc de notes.

4.3. Procediment i paràmetres calculats

Per realitzar aquestes proves s'ha seguit el procediment que estableixen les normes UNE-68-072-86, UNE-EN-13742-1 i 2 ISO 7749-1 i 2. Obtenint el següent:

1. Realitzar una inspecció a simple vista dels components del sistema, per veure si hi ha cap anomalia (fugues, trencadures...).
2. Posada en marxa de l'equip de bombeig, obertura manual de l'hidrante i de la vàlvula hidràulica.
3. Regulació de la pressió del sistema ajustant-la a la pressió de 200 o 300 kPa segons el cas.
4. Aturada momentània del reg i col·locació dels vasos pluviomètrics a la distància i orientació adequades.
5. Posada en funcionament del reg durant un temps d'una hora (60 minuts).
6. Mesura i anotació de la velocitat del vent (km/h) des de l'inici de la prova fins al final en intervals de 10 minuts.
7. Mesura i anotació de la pressió (mca) en la sortida del aspersor.
8. Aturada total del sistema de reg (equip de bombeig, hidrante i vàlvula hidràulica).
9. Mesura del volum d'aigua (cm³) dels vasos pluviomètrics.
10. Recollida/Anotació de les dades per al posterior tractament dels resultats.

En cada avaluació s'ha determinat la precipitació mitjana (a partir del volum mig d'aigua recollida en tots els pluviòmetres), la desviació típica en tot el radi mullat i el coeficient de variació.

5. Mesura del vent

Com bé sabem el reg per aspersió, en condicions de vent fa baixar la uniformitat d'aquest, no tant com el reg en condicions de poc vent, on la uniformitat i l'eficiència són més elevades. Normalment les pèrdues produïdes pel vent són produïdes per la dispersió de les gotes de diàmetre més petit, fàcilment seran transportades a través de l'aire a un punt que no interessa. Es per això que s'haurà de tindre en consideració aquest factor a l'hora de realitzar els assajos i per valorar correctament els resultats.

La mesura del vent s'ha realitzat mitjançant dos mètodes, la primera mesura és realitzava a camp mitjançant un anemòmetre manual d'hèlix, és mesurava la velocitat del vent a l'inici, i al finalitzar la prova. Aquest mètode s'ha utilitzat bàsicament per saber quina era la força del vent a l'iniciar les diferents avaluacions.

Com a segon mètode d'obtenció de dades hem optat per demanar les dades a l'estació automàtica més pròxima, aquesta és troba a 500 metres de la parcel·la d'avaluacions d'uniformitat, fet que ens fa confiar molt en aquestes dades ja que no es troba a una distancia excessiva. L'anemòmetre utilitzat en aquesta estació de l'AEMET (9771C) és de culleres i esta instal·lat a una alçada de 10 metres per tal de minimitzar els efectes del sol en el flux horitzontal de l'aire. També es disposa de la direcció d'aquest.



Foto 19. Anemòmetre utilitzat en les mesures de camp.



Foto 20. Estació meteorològica de l'AEMET

El fet d'obtindre les dades meteorològiques a una alçada superior a la que estem treballant a camp, és realitzarà un ajust de les dades obtingudes, l'altura estàndard d'agrometeorologia és de 2 metres, aquest ajust vindrà donat per la següent relació logarítmica (Estudio FAO Riego y Drenatge, p.55):

$$u_2 = u_z \times \frac{4,87}{\ln(67,8 \times z - 5,42)}$$

On:

u_2 , és la velocitat del vent a 2 metres sobre la superfície (m/s).

u_z , és la velocitat del vent mesurada a z metres sobre la superfície (m/s).

z , és l'altura del mesurament sobre la superfície (m).

6. Georeferenciació dels punts de captació de dades

Un cop obtingudes les dades dels diferents assajos s'ha decidit fer una georeferenciació dels punts on tenim els 72 pluviòmetres i els 7 aspersors, d'aquesta manera tindrem les coordenades dels diferents pluviòmetres, això ens permetrà fer un anàlisi i posteriorment un processat de les dades obtingudes en funció de la seva posició.

L'aparell utilitzat per a fer aquesta georeferenciació ha estat el Leica Zeno 20 GIS, es un aparell de captació de dades geogràfiques a partir de la seva connexió amb els diferents satèl·lits disponibles. Aquestes dades tindran una correcció RTK, comparant-se les dades captades amb la base mòbil amb les de la base fixa oferint-nos una precisió de captació de fins a 1 cm.

7. Generació dels mapes pluviomètrics

Amb les dades filtrades s'han generat els mapes de pluviometria per cada assaig realitzat, així es pot observar les diferències que presenta cada model d'aspersor.

El programes utilitzats per realitzar-ho han estat dos; en primer lloc tenim el VESPER (Variogram Estimation and Spatial Prediction with Error) ens ha permès fer una predicció espacial geoestadística a partir de la relació entre les dades de pluviometria i les seves coordenades. Aquest ens permetrà realitzar un variograma, és una funció model, aquest modela la variabilitat de les dades obtingudes a la parcel·la, de forma global o local. S'ha utilitzat el format global ajustant el variograma pel conjunt de dades recollides de la parcel·la. A l'hora de realitzar el Kriging (interpolació espacial a partir del variograma) pot ser puntual o en blocs, en el nostre cas s'ha fet de forma puntual així obtindrem per cada punt el seu valor real sense rebre una aproximació en el punt, aquesta només la tindrem en els espais entre pluviòmetres, concretament cada 0,5 metres.

Pel que fa al segon programa utilitzat és el QGIS un programa de visualització, edició i anàlisi de dades que conforma un sistema d'informació geogràfica (SIG). S'ha fet una transformació dels arxius obtinguts a partir del Vesper, aconseguint uns mapes de pluviometria molt més precisos que els resultats del Vesper. Els mapes de pluviometria obtinguts ens serveixen per poder treure conclusions a partir de les dades preses.

Resultats i discussió

1. Anàlisi estadístic de les dades obtingudes

1.2. Anàlisi descriptiu de les pluviometries

Amb les dades de pluviometria s'ha realitzat un anàlisi estadístic per cada prova passant totes les dades pel programa JMP, aquest programa ens ha permès analitzar les dades per tal de filtrar-les i posteriorment poder determinar si alguna d'aquestes està fora de la normalitat, classificant-la com un valor atípic. S'han eliminat les dades que tenien uns valors més atípics, obtenint un conjunt de dades més uniforme i correcte.

En la següent imatge s'observa el procés al qual s'han sotmès les dades de pluviometria. A la imatge esquerra veiem els valors que es consideren atípics (encerclats en vermell) al realitzar el primer anàlisi de les dades, un cop eliminats els valors que marxaven de la normalitat s'ha obtingut els resultats mostrats a la imatge dreta, podem observar que el valor màxim ha passat de ser 460 cm³ a 180 cm³. S'han considerat d'especial interès els estadístics següents: Desviació típica, coeficient de variació, màxim, mínim i la mitjana.

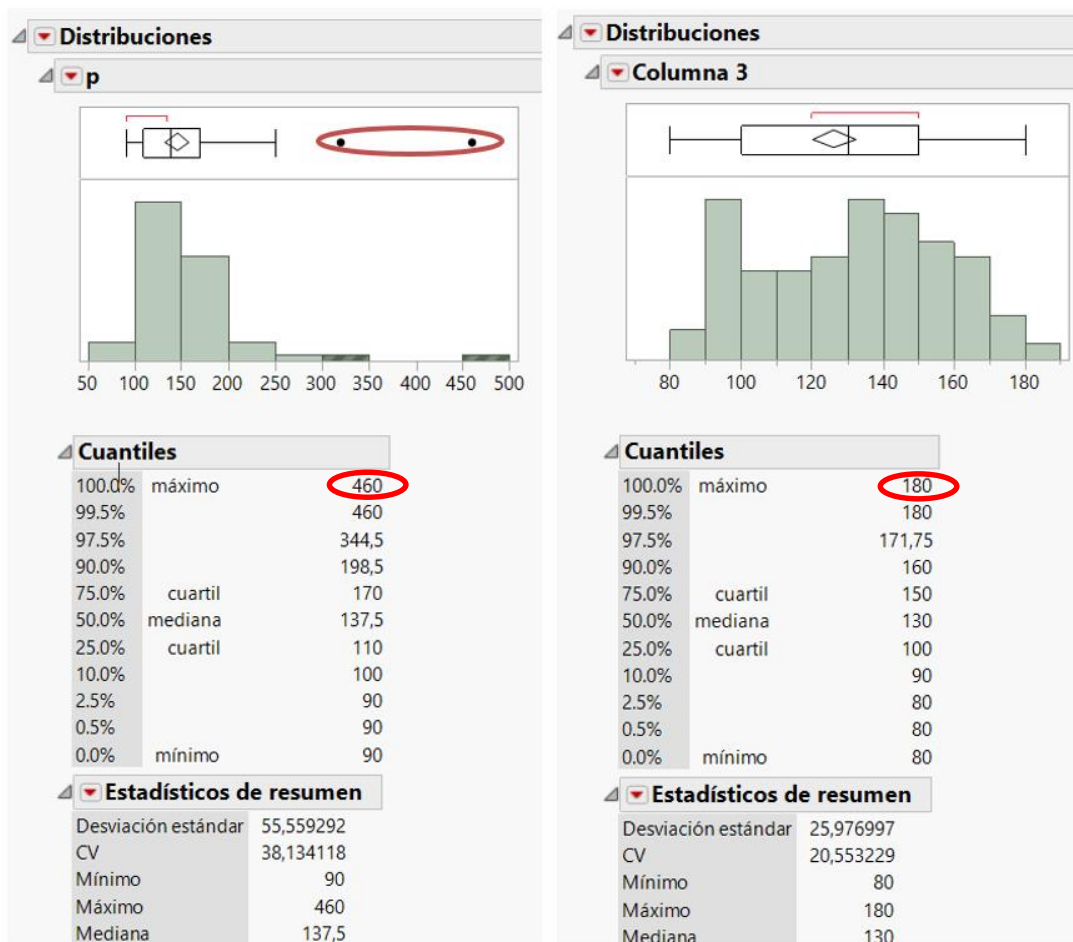
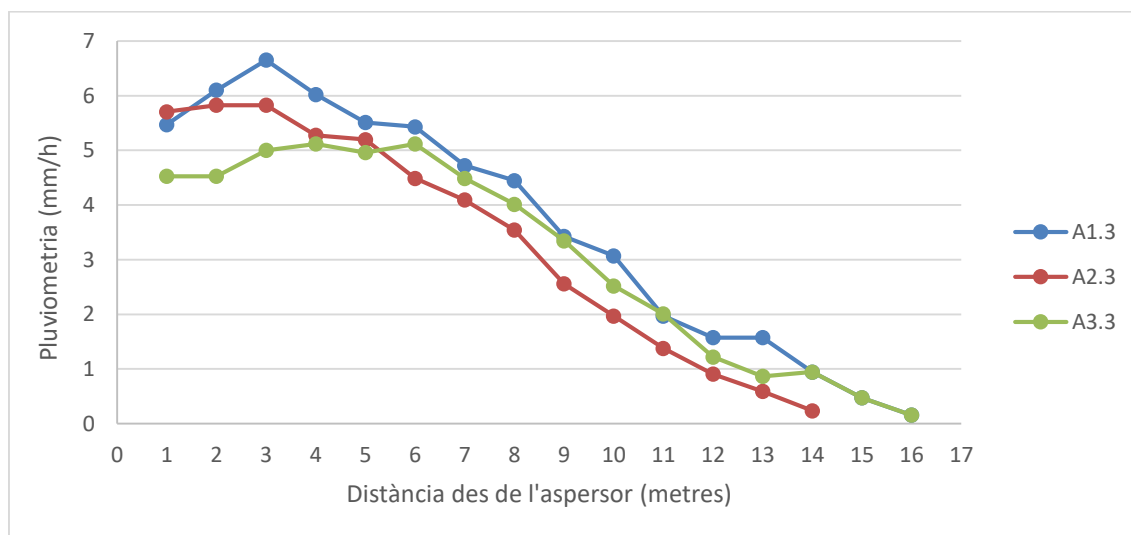


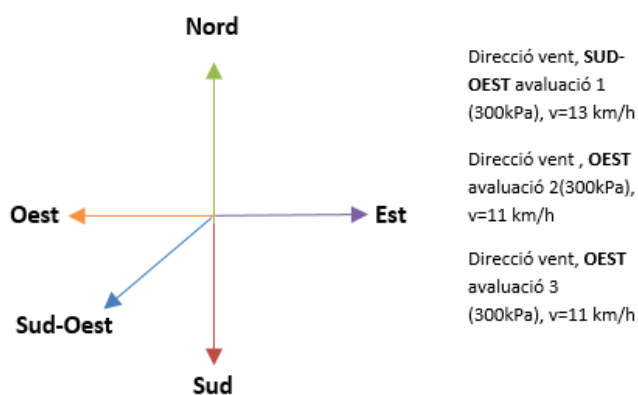
Figura 14. Anàlisi de les dades mitjançant el programa JMP.

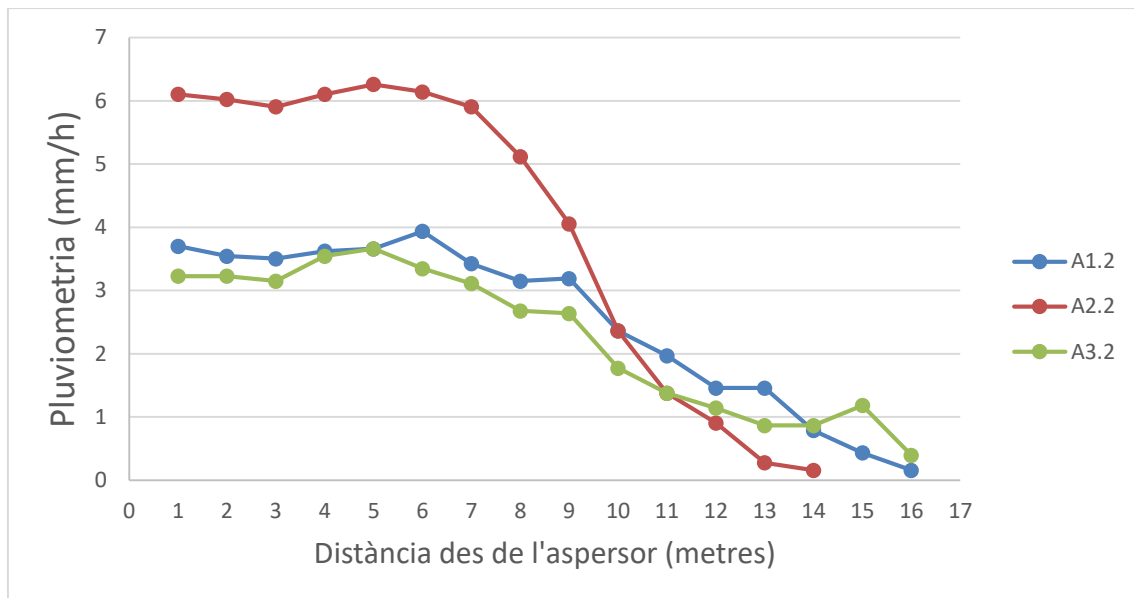
2. Avaluació de la corba de distribució pluviomètrica

Entenem per distribució pluviomètrica, la corba de distribució de l'aigua de l'aspersor al llarg del radi mullat. La forma de la corba radial depèn principalment del model de l'aspersor, es a dir del seu disseny intern, del tipus de broquet, de l'angle de descarrega i del braç que trenca el raig i fa girar l'aspersor.

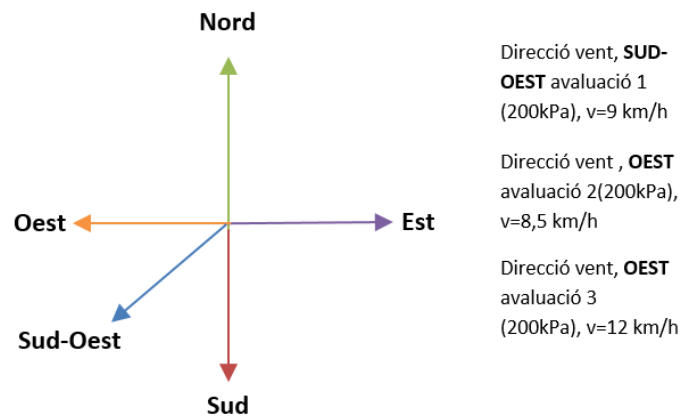


Gràfic 1. Valors de pluvimetria recollida en les files de pluviòmetres al llarg del radi mullat A1, A2 i A3, pressió 300 kPa.





Gràfic 2. Valors de pluviositat recollida en les files de pluviòmetres al llarg del radi mullat A1', A2' i A3', pressió 200 kPa.



En els gràfics 1 i 2 es representen les corbes de distribució pluviomètrica dels aspersors model 1 (A1), model 2 (A2) i model 3 (A3), els quals han treballat a una pressió de 300 kPa i a 200 kPa, els models (A1'), model 2 (A2') i model 3 (A3'). Per a realitzar els gràfics s'ha fet la mitja dels valors obtinguts de les dos direccions mostrejades.

En aquest tipus de proves a l'aire lliure és molt difícil aconseguir unes condicions de vent nul·les, en el nostre cas hem realitzat aquestes proves amb condicions de vent ja que no disposàvem de més dies per a realitzar els assajos. El valor mig del vent que s'ha tingut en cada assaig ha estat de 2,9 m/s, compres en un rang d'entre 2,2 i 3,3 m/s.

En condicions de vent es produeix un desplaçament de l'aigua aplicada en la direcció del vent, obtenint un radi mullat major en la direcció del vent i no pas en la direcció oposada a aquest. Tanmateix el raig emes en la direcció perpendicular al vent redueix el seu abast, fent que la zona mullada per l'aspersor és redueixi.

Normalment podem obtenir tres tipus de corbes radials en funció de l'aspersor; la triangular, la rectangular i la de rosquilla.

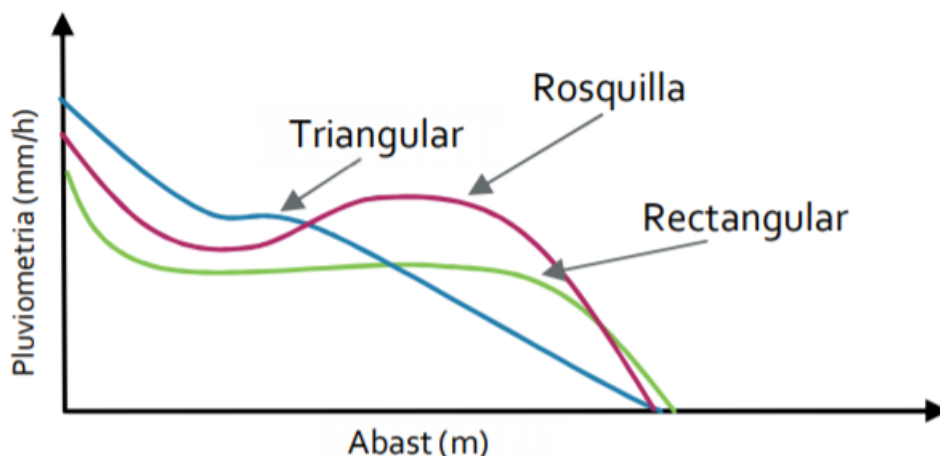


Figura 15. Possibles formes de les corbes de distribució d'un aspersor. Font: VIABILITAT DEL REG PER ASPERSIÓ.

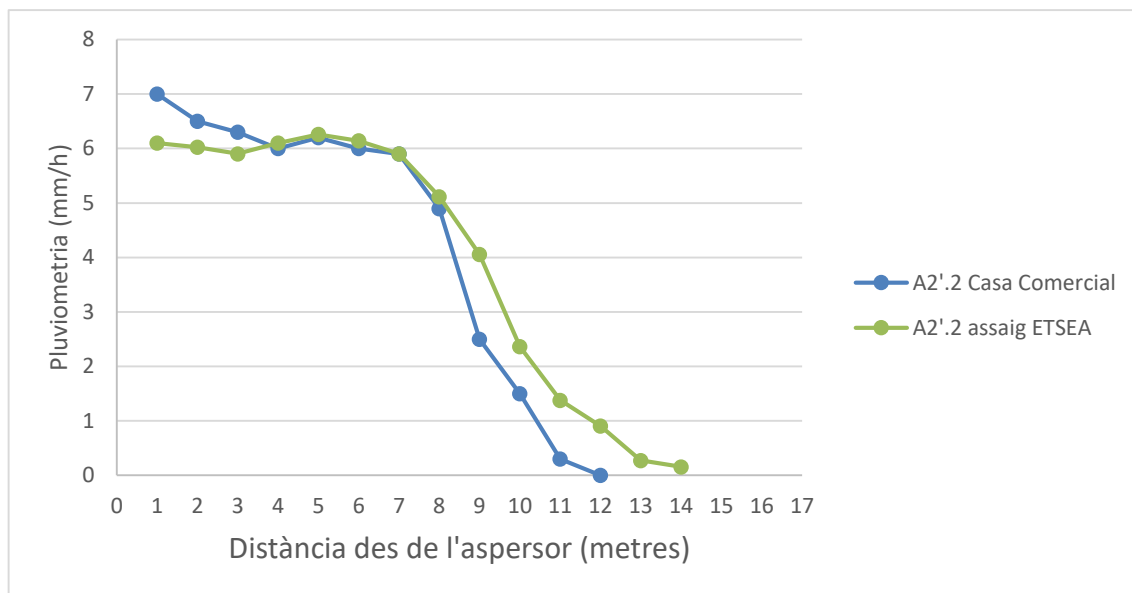
En els nostres assajos no tenim cap tipus de corba que segueixi estrictament la forma d'aquestes corbes teòriques, sinó que són una combinació dels tres tipus típics.

Tret aquest fet la comparació més pròxima que observem es la següent:

En els aspersors que treballen a 300 kPa observem que la forma més típica que segueixen es la triangular fins que l'aigua arriba a 6 metres, normalment s'observa aquest fenomen quan els aspersors treballen amb dos broquets com en aquest cas.

L'única diferencia a destacar és la distancia màxima a la que arriben els aspersors, veiem que la corba de l'aspersor A2 acaba 2 metres abans que els altres dos aspersors, aquest fet el podem observar també als resultats dels assajos individuals per aquest aspersor, on es veu clarament que es treballa amb un marc massa gran per aquest model d'aspersor.

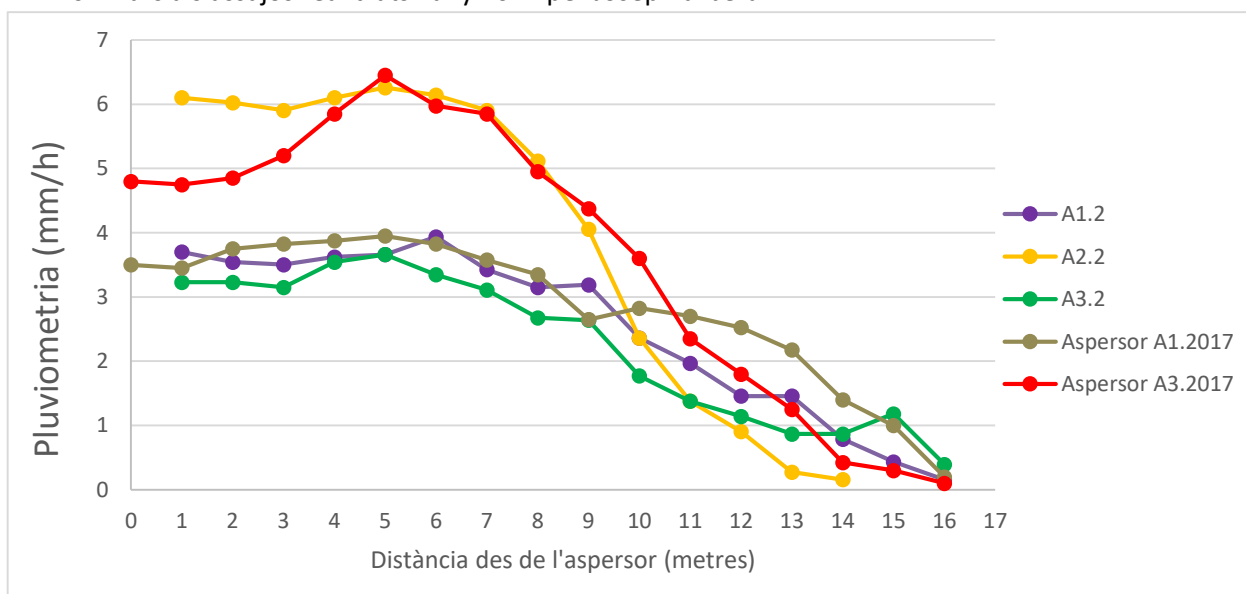
Pel que fa als aspersors que treballen a 200 kPa, presenten una forma més estàndard assimilant-se al patró rectangular, es repeteix la mateixa tendència observada en l'assaig fet per a 300 kPa. No obstant en aquest cas observem que l'aspersor A2' és separa molt de les altres corbes, es comprova amb corba de pluviometria facilitada per la casa comercial podent afirmar la fiabilitat de les dades recollides, tal com es mostra en el gràfic 3 on es pot veure la aquesta comparació. Cal comentar que la casa comercial ha realitzat aquests assajos en un espai tancat, on es tenen els factors ambientals controlats, aquest fet pot ser el causant de la diferencia de 2 metres entre el punt màxim on arriba l'aigua, el mes probable es que degut per l'alçada on estan els pluviòmetres, ja que en els assajos "indoor" els pluviòmetres estan situats a certa alçada de terra, creant així una paràbola més petita per tant reduint l'abast de l'aigua.



Gràfic 3. Comparació entre la corba pluviomètrica comercial i la realitzada a ETSEA pel model d'aspersor A2'.2.

En tots els assajos realitzats observem un volum d'aigua major prop de l'aspersor i aquest va disminuint a mesura que s'augmenta la distància a l'aspersor. Això ens indica el bon comportament previsible de l'aspersor en condicions de poc vent però no tant bo en condicions de forts vents. (Tarjuelo et al, 1999a).

S'han comparat els resultats obtinguts amb els assajos realitzats el 2017 per Josep Barberà, en el seu estudi només testejava 2 tipus d'aspersors a una pressió de 200 kPa, aquests coincideixen amb dos dels models treballats en el present treball, al comparar les diferents corbes observem que n'hi ha dos que s'aparten de la resta no obstant no hi ha una coincidència amb els models d'aspersors. L'aspersor A1.2 es l'únic que obté uns resultats similars als assajos realitzats l'any 2017 per Josep Barberà.



Gràfic 4. Comparació entre les corbes pluviomètriques assajades en el treball Reg per aspersió a baixa pressió (2017) i les corbes obtingudes en el present treball.

Grau de solapament

Per determinar el grau de solapament s'ha utilitzat com a radi efectiu de l'aspersor la distància respecte des del primer pluviòmetre que podem mesurar el volum d'aigua fins l'últim pluviòmetre que teníem presència d'aigua, obtenint així per a cada aspersor dos radis, nord i sud, la mitja dels quals ens donà el radi efectiu.

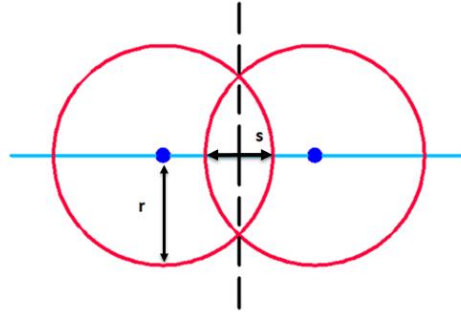


Figura 16. Superfície de solapament entre dos aspersors.

Coneixent els radis efectius podem calcular el solapament mitjançant la següent relació:

$$h^2 = \left(\frac{Sa}{2}\right)^2 = R1^2$$

$$h^2 = R1^2 - \left(\frac{Sa}{2}\right)^2$$

$$h = \sqrt{R1^2 - \left(\frac{Sa}{2}\right)^2}$$

Condicció per tal d'assolir l'espaiament màxim entre aspersors per evitar àrees no regades:

$$Sa = h + R \rightarrow h = Sa - R$$

$$Sa - R = \sqrt{R1^2 - \left(\frac{Sa}{2}\right)^2}$$

$$R = \frac{Sa^2 + \left(\frac{Sa}{2}\right)^2}{2 \times Sa} = \frac{5}{8}Sa$$

$$\frac{Sa}{R} = \frac{8}{5} = 1.6$$

Sabent que 1,6 es el màxim valor que es pot arribar per obtindre un valor de solapament acceptable, aplicarem la següent formula per determinar quin es grau de solapament que tenen els diferents models provats.

$$S = \frac{Sa}{R}$$

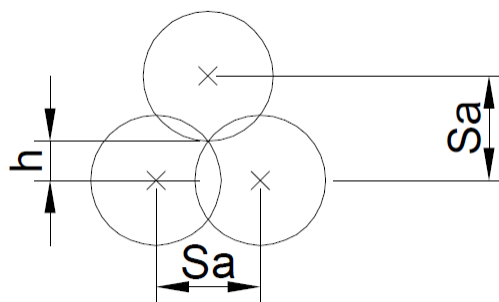


Figura 17. Espaïament màxim entre aspersors en un marc triangular per evitar les àrees sense reg. FONT: Monserrat, J., 2019.

On:

R: és radi mullat

h: Distància des de l'aspersor fins al punt d'intersecció entre els aspersors que formen un marc triangular.

Sa: separació entre aspersors.

S: Solapament.

S'obtenen millors valors de solapament quan el valor resultant de Sa/R s'aproxima a 1.

	300 kPa	
	Solapament	Mitjana CU (%)
Aspersor model 1	1,16	91
Aspersor model 2	1,38	78,5
Aspersor model 3	1,24	87
	200 kPa	
	Solapament	Mitjana CU (%)
Aspersor model 1	1,16	84
Aspersor model 2	1,33	75
Aspersor model 3	1,2	88

Taula 7. Comparació entre el solapament dels diferents models d'aspersor en relació als diferents coeficients d'uniformitat.

Veient aquesta taula es comprova la correlació entre el solapament i el CU. Podem confirmar que el model 2 (A2), no és l'adequat per treballar en un marc triangular de 18x18m, tant a 200 kPa com a 300 kPa.

Fet que es corrobora si mirem els mapes pluviomètrics obtinguts en el següent apartat.

3. Avaluació de la uniformitat de reg en parcel·la

Un punt important a tenir en compte és la uniformitat de reg, seguidament es mostren els resultats i característiques per les diferents avaluacions dutes a terme. S'han dividit en dos parts, en la primera trobem els resultats dels models d'aspersor de 300 kPa i a la segona hi trobarem els dels aspersors de 200 kPa. En total tenim 26 avaluacions.

Per analitzar els resultats s'ha decidit utilitzar com a paràmetre representatiu el coeficient d'uniformitat de Christiansen (CU), ja que aquest es un dels índex que més s'utilitza a l'hora de realitzar estudis de reg per aspersió.

Un dels motius pel qual s'han obtingut dades que marxen de la normalitat ha estat causat per la mala col·locació d'una pantalla protectora d'un dels aspersors, aquesta estava mal situada fent que l'aspersor al girar fes impactar l'aigua sobre la pantalla i caigués ens dos dels pluviòmetres més pròxims, obtenint unes dades de pluviometria errònies.

3.1. Primera fase d'assajos, marc triangular 18x18 metres, pressió de treball 300 kPa.

Prova	Aspersor	Data	V vent ajustat (m/s)	Direcció	Pressió (kPa)	UD (%)	CU (%)	Desviació Tip	Mitja pluv.rec (cm³)
1	A1	22/11/2018	0.52	S	321.66*	87.33	91.42	10.14	142.50
2		22/11/2018	0.62	SE	304.99	82.29	89.19	9.41	135.69
3		22/11/2018	0.52	SE	314.79	89.51	92.09	10.00	128.47
4		06/03/2019	2.29	SE	306.95	82.95	90	10.25	122.57
5	A2	08/11/2018	1.97	N	295.18	71.89	78,40	45.69	138,71
6		08/11/2018	1.97	N	295.18	70.23	78,07	39.45	142,79
7		10/04/2019	2.08	SO	295.18	72.53	82,65	12.51	126,39
8	A3	08/11/2018	1.66	N	295.18	81.78	87.08	28.41	122.96
9		14/11/2018	1.25	NE	299.10	73.01	82.29	35.42	133.93
10		14/11/2018	1.04	N	305.97	81.06	86.69	32.30	125.07
11		10/04/2019	2.18	SO	297.14	83.90	89.47	14.64	113.89
12		14/11/2018	0.93	NE	303.03	74.39	85.25	23.89	129.01
13		10/04/2019	0.93	SO	296.16	83.57	87.71	15.51	112.01

*Valor de pressió anormal.

Taula 8. Resum dels resultats de les avaluacions d'uniformitat per a un marc 18x18 metres, a pressió de 300 kPa

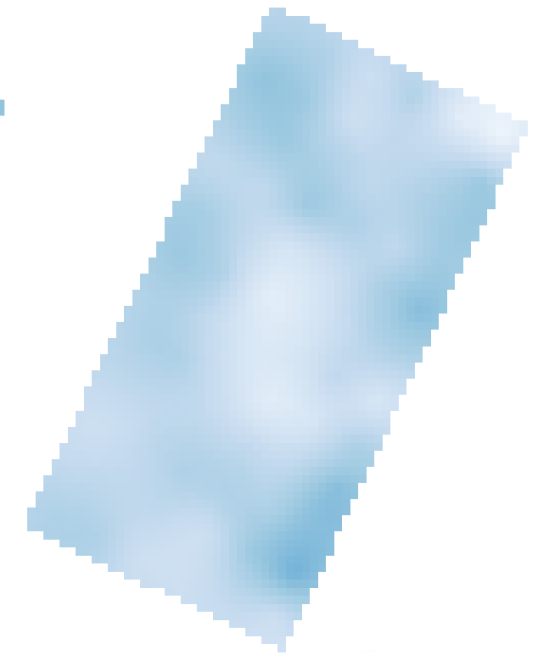
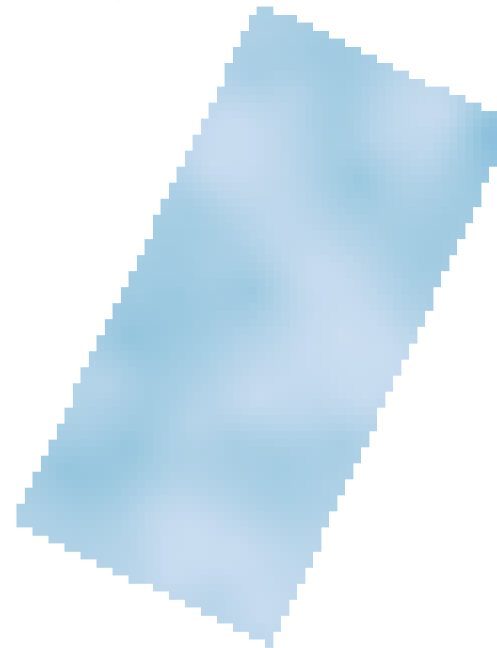
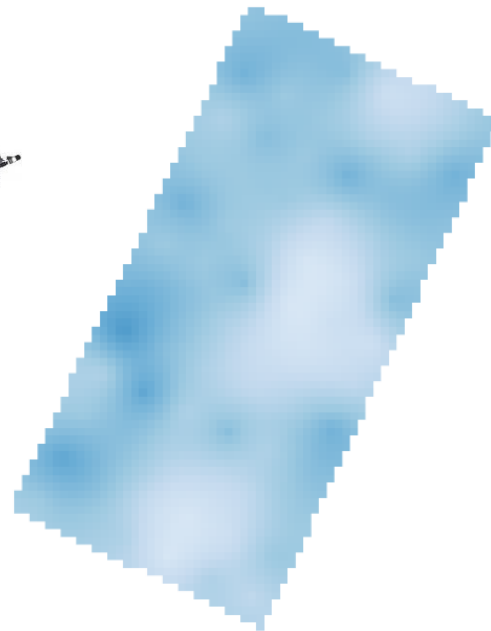
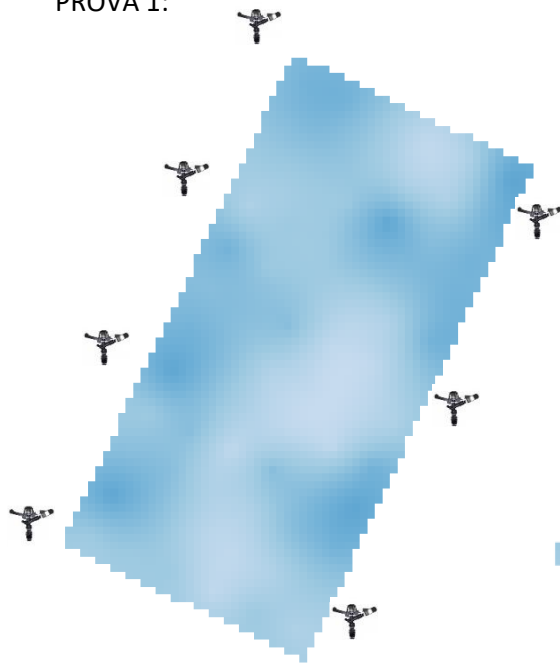
ASPERSOR 1 (3 BAR)

PROVA 1:

PROVA 2:

PROVA 3:

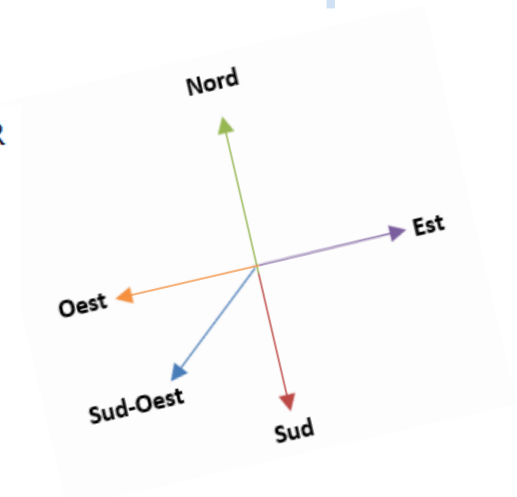
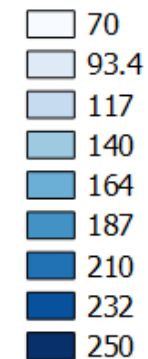
PROVA 4:



Prova	Aspersor	Data	V vent ajustat(m/s)	Direcció
1	A1.3	22/11/2018	0.52	S
2		22/11/2018	0.62	SE
3		22/11/2018	0.52	SE
4		06/03/2019	2.29	SE

Prova	Aspersor	CU (%)	UD (%)	Mitja pluv.rec
1	A1.3	91.42	87.33	142.50
2		89.19	82.29	135.69
3		92.09	89.51	128.47
4		90.02	82.95	122.57

Avaluació a 3 BAR



Observant els mapes de pluviometria podem comentar el següent:

L'aspersor que té com a codi A1.3, observem uns mapes de pluviometria amb un patró molt semblant, mantenint un coeficient d'uniformitat similar en les diferents repeticions, factor que ens confirma la veracitat de les dades adquirides.

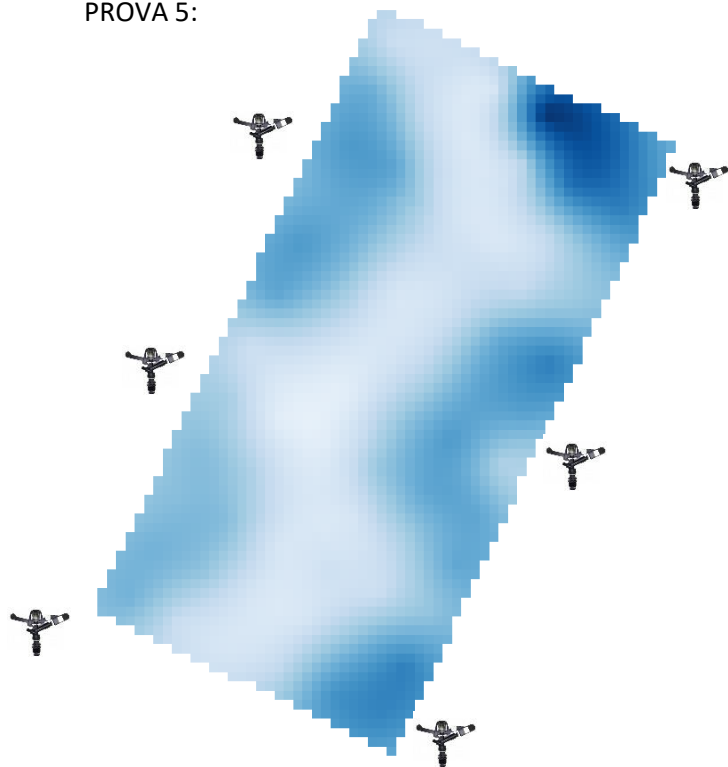
Si ens fixem en les 4 repeticions i la forma en que es repeteix l'aigua podem determinar que aquest model d'aspersor és podria utilitzar amb un marc més ampli, ja que en les zones entre aspersors és on tenim un major volum d'aigua recollit. Si ho comparem amb l'espaiament entre aspersors realitzat a partir de les corbes pluviomètriques de cada aspersor observem que es el que ens dona el major solapament entre els aspersors que han treballat a una pressió de 300 kPa.

Pel que fa a la 4a prova és on es veu un menor volum d'aigua, aquest fet ens encaixa amb l'augment de la velocitat del vent, també queda clar en la direcció que es mou el vent ja que augmenta la concentració d'aigua a la banda SE del mapa.

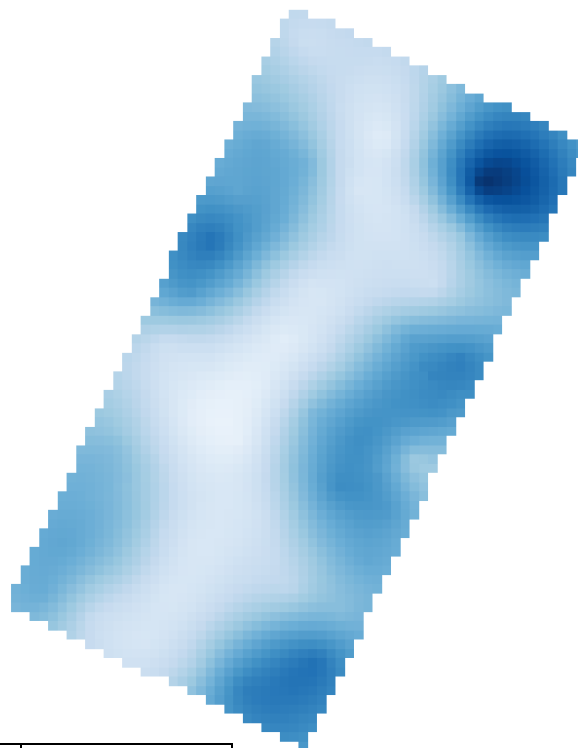
ASPERSOR 2 (3 BAR)



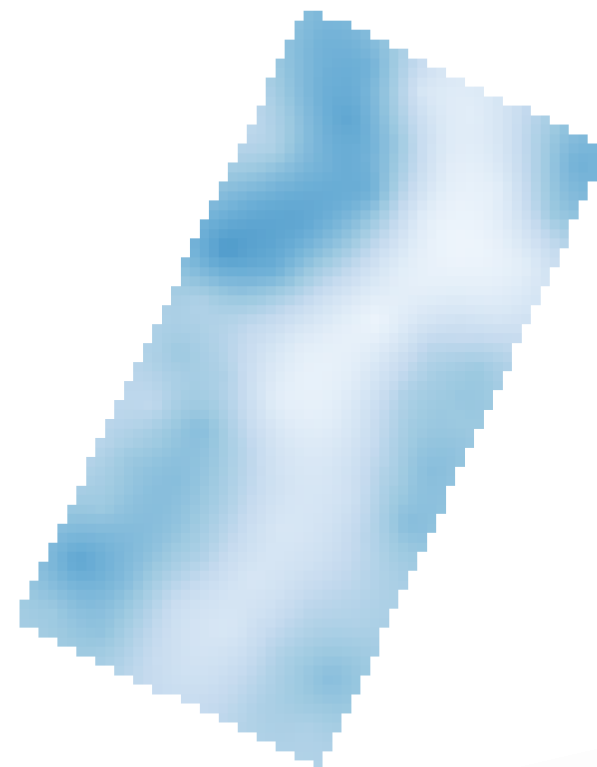
PROVA 5:



PROVA 6:



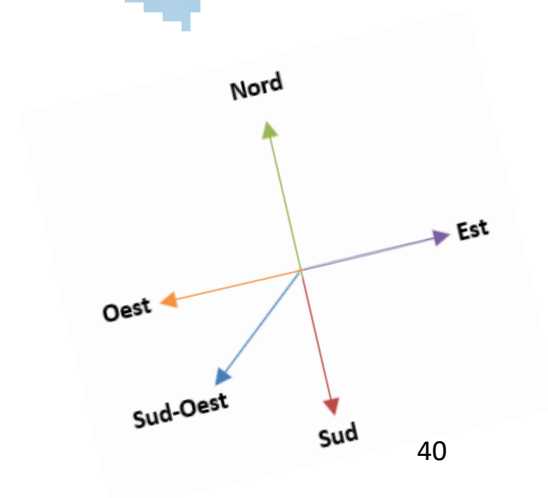
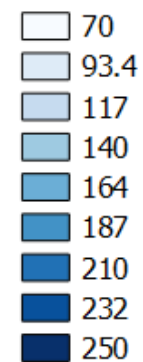
PROVA 7:



Prova	Aspersor	Data	V vent ajustat (m/s)	Direcció
5	A2.3	08/11/2018	1.97	N
6		08/11/2018	1.97	N
7		10/04/2019	2.08	SO

Prova	Aspersor	CU (%)	UD (%)	Mitja pluv.rec
5	A2.3	78.40	71.89	127.07
6		78.07	70.23	128.50
7		82.65	72.53	138.71

Avaluació a 3 BAR

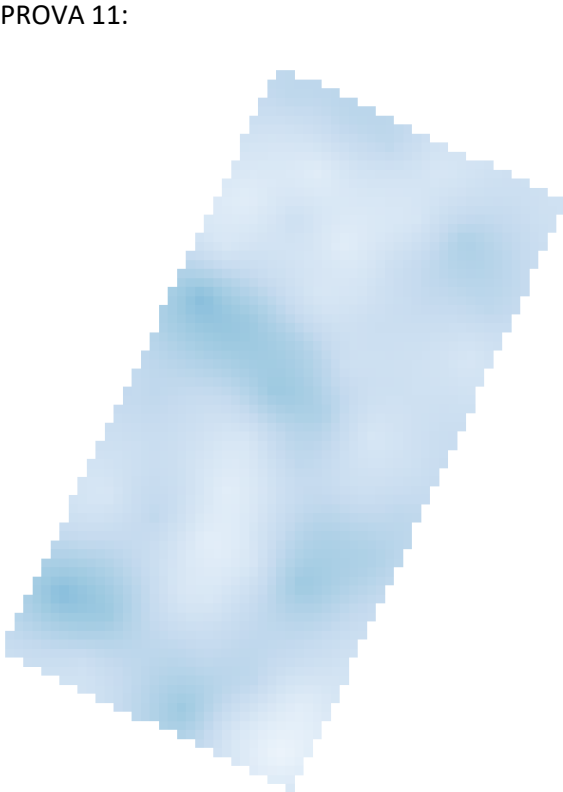
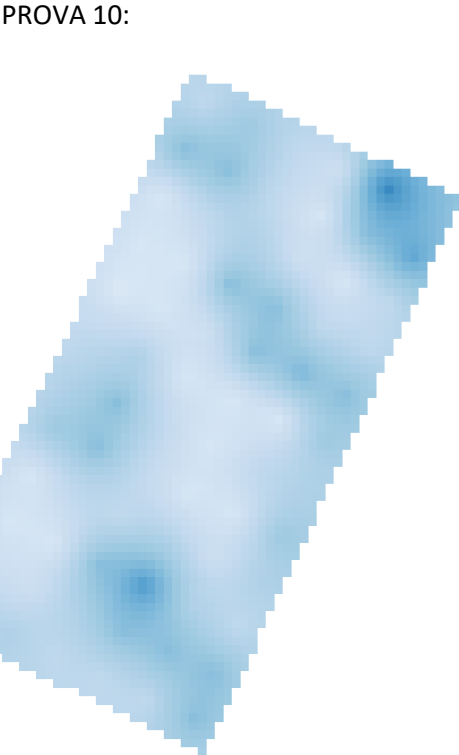
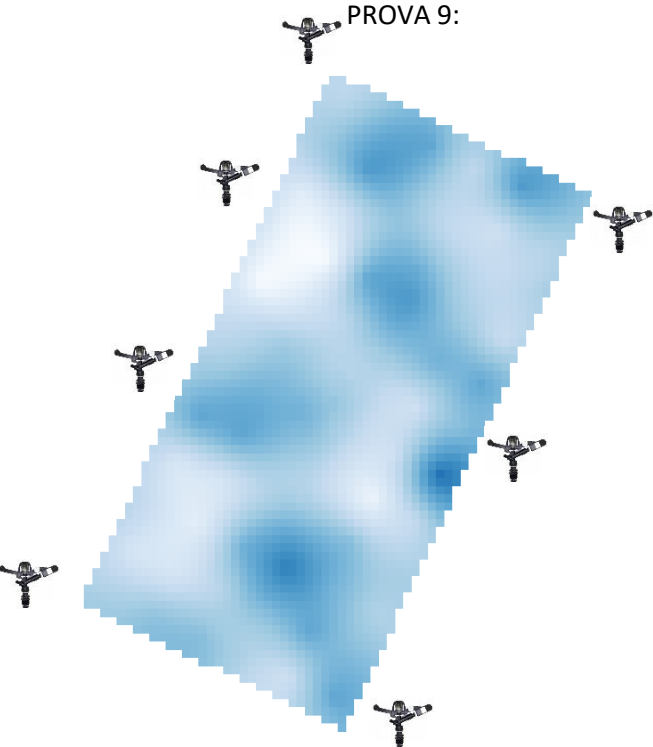


Pel que fa el model A2.3 veiem un coeficient d'uniformitat més baix que els altres aspersors amb una oscil·lació d'un 4 % entre el màxim i el mínim, en les diferents proves d'aquest aspersor tenim un vent mol similar, fet que ens corrobora la veracitat de les dades adquirides.

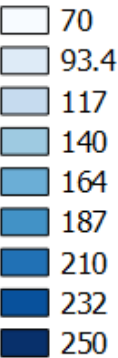
Si ens fixem en les proves 5 i 6 són les més similars tant per volum d'aigua recollit, velocitat del vent i coeficients d'uniformitat, no obstant en la prova 7 veiem que augmenta tímidament la velocitat del vent i la seva direcció canvia, obtenint un augment del coeficient d'uniformitat i una millor distribució de l'aigua, no podem considerar aquesta tendència com un fet estàndard ja que no tenim cap mes repetició i no es pot corroborar. No obstant podem afirmar que el principal efecte distorsionador de la uniformitat és el vent, no tan sols amb intensitat, sinó que la direcció també és un efecte a tindre en consideració.

En el cas de les tres proves veiem major captació d'aigua en les proximitats de l'aspersor, accentuat en les proves 5 i 6, fet que ens indica una separació excessiva entre aspersors. Si ho comparem amb el solapament obtingut per aquest model veiem un solapament mínim, fet que ens indica que aquest no es el model idoni per treballar amb aquest marc.

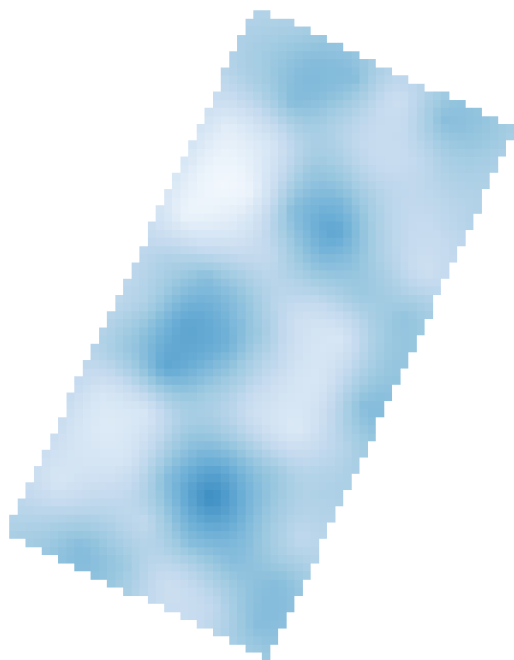
El fet de tindre uns valors baixos de solapament va lligat amb els valors del coeficient d'uniformitat, tal com podem comprovar si es comparen amb els valors dels tres models d'aspersor provats a pressió de 300 kPa, el model A2.3 dona un CU més baix juntament amb un solapament inferior a la resta.



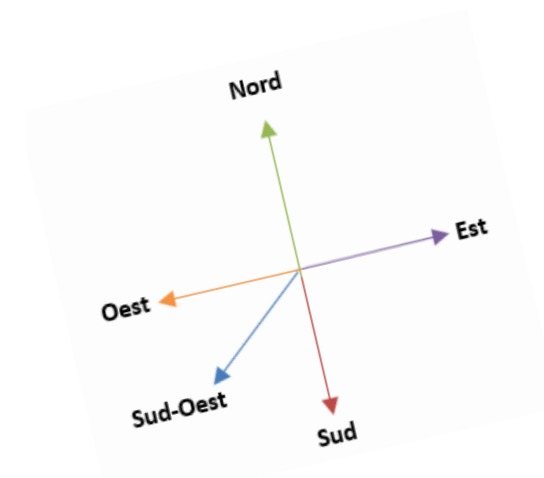
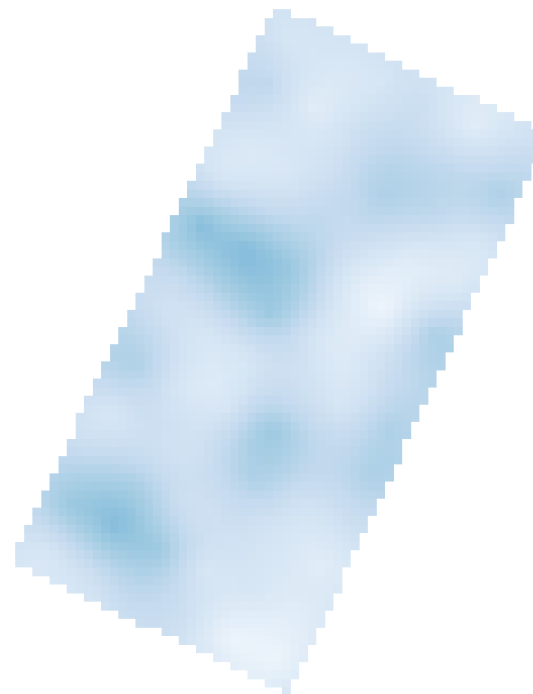
Avaluació a 3 BAR



PROVA 12:



PROVA 13:



<i>Prova</i>	<i>Aspersor</i>	<i>Data</i>	<i>V vent ajustat (m/s)</i>	<i>Direcció</i>
8*	A3.3	08/11/2018	1.66	N
9		14/11/2018	1.25	NE
10		14/11/2018	1.04	N
11		10/04/2019	2.18	SO
12		14/11/2018	0.93	NE
13		10/04/2019	0.93	SO

<i>Prova</i>	<i>Aspersor</i>	<i>CU (%)</i>	<i>UD (%)</i>	<i>Mitja pluv.rec</i>
8*	A3.3	78.40	72.29	138.71
9		82.29	73.01	133.93
10		86.69	81.06	125.07
11		89.47	83.90	113.89
12		85.25	76.00	129.01
13		87.71	83.57	112.01

*No s'ha pogut obtindre un mapa de la prova 26 degut a un error causat pel programa de predicció Geoestadística (Vesper) a l'hora d'interpretar les dades.

El model A3.3, tenim uns mapes de pluviometria que segueixen un patró molt semblant, mantenint un coeficient d'uniformitat molt similar en les diferents repeticions, factor que ens confirma la veracitat de les dades adquirides.

Un altre fenomen que s'observa molt bé en aquest tipus de mapes és el canvi de la direcció del vent, si comparem les proves 9, 10 i 12 tenen una distribució similar, no són idèntics al 100%, no obstant segueixen un patró molt similar, ja que la direcció del vent coincideix en la 9 i la 12, variant lleument en la 10. Si es comparen amb la 11 i la 13, veiem que aquestes dos són molt similars entre elles però observem com el patró de distribució canvia lleugerament fet que ens indica un canvi de direcció en el vent.

Si comparem els coeficients d'uniformitat d'aquests dos grups tenim el següent; les proves 9, 10 i 12 tenen uns valors molt similars, entre el màxim i el mínim hi ha una oscil·lació d'un 4%. En les proves 11 i 13 obtenim una oscil·lació d'un 2 %.

Pel que fa les mitges pluviomètriques recollides si les comparem dins de cada grup també observem uns valors similars, variant notablement si es comparen amb els valors obtingut en l'altre grup.

3.2. Segona fase d'assajos, marc triangular 18x18 metres, pressió de treball 200 kPa.

Prova	Aspersor	Data	V vent ajustat (m/s)	Direcció	Pressió (kPa)	UD (%)	CU (%)	Desviació Tip	Mitja pluv.rec (cm³)
1	A1'	26/02/2019	1.77	SO	218.69	79.89	85,32	17.03	105.69
2		27/02/2019	0.83	SO	219.67	74.67	82,78	17.24	125.00
3		27/02/2019	1.77	SSE	218.69	81.77	84,76	18.01	122.29
4		27/02/2019	1.77	SO	220.65	82.62	83,45	22.27	121.04
5	A2'	27/02/2019	1.35	SSO	213.78	77.14	80,10	20.47	122.43
6		28/02/2019	2.49	O	215.75	63.30	75,10	22.26	127.71
7		28/02/2019	2.29	O	216.73	60.72	74,50	22.83	119.86
8		04/03/2019	2.60	OSO	214.77	51.22	69,53	29.67	119.31
9		05/03/2019	0.93	E	212.80	78.09	85,44	12.54	133.75
10	A3'	05/03/2019	1.35	NE	218.69	85.71	89,77	9.84	91.39
11		05/03/2019	0.93	SE	218.69	81.07	87,45	7.98	93.19
12		05/03/2019	0.93	SE	218.69	80.98	87,64	7.41	90.56
13		06/03/2019	1.97	NE	215.75	87.65	87,96	12.93	90.00

Taula 9. Resum dels resultats de les avaluacions d'uniformitat per a un marc 18x18 metres, a pressió de 200 kPa.

ASPERSOR 1.2 (2 BAR)

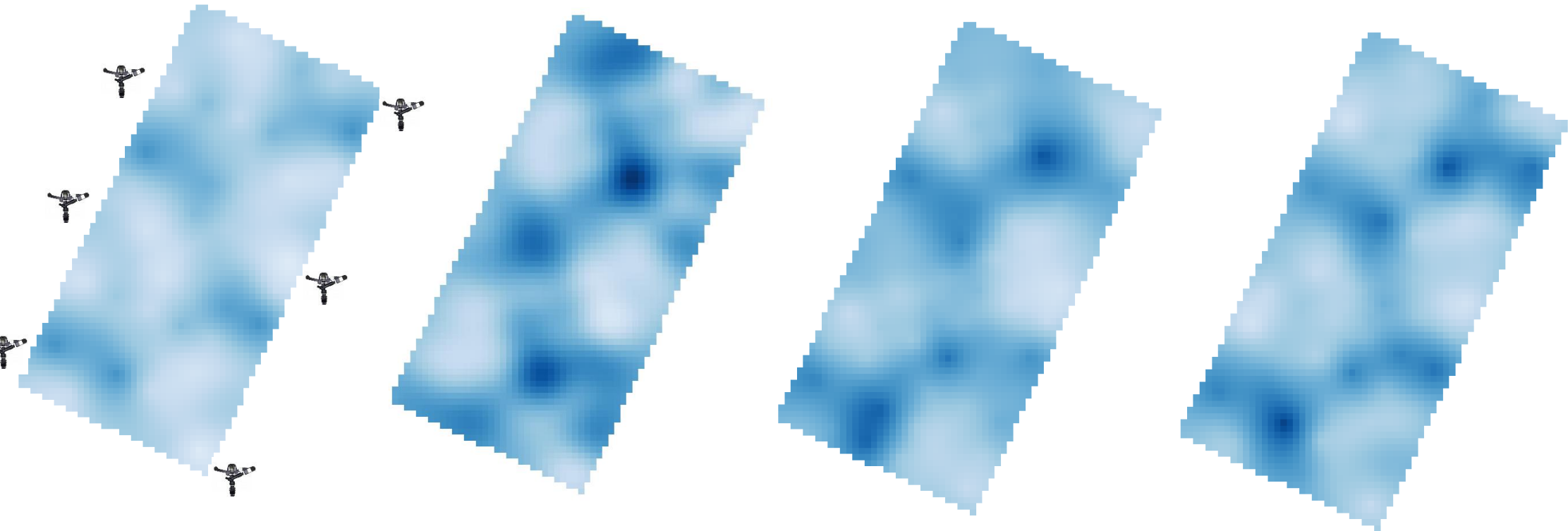
PROVA 1:



PROVA 2:

PROVA 3:

PROVA 4:



Avaluació a 2 BAR



Prova	Aspersor	Data	V vent ajustat(m/s)	Direcció
1	A1'.2	26/02/2019	1.77	SO
2		27/02/2019	0.83	SO
3		27/02/2019	1.77	SSE
4		27/02/2019	1.77	SO

Prova	Aspersor	CU (%)	UD (%)	Mitja pluv.rec
1	A1'.2	85.32	79.89	105.69
2		82.78	74.67	125.00
3		84.76	81.77	122.29
4		83.45	82.62	121.04

Observant els mapes de pluviometria podem observar el següent:

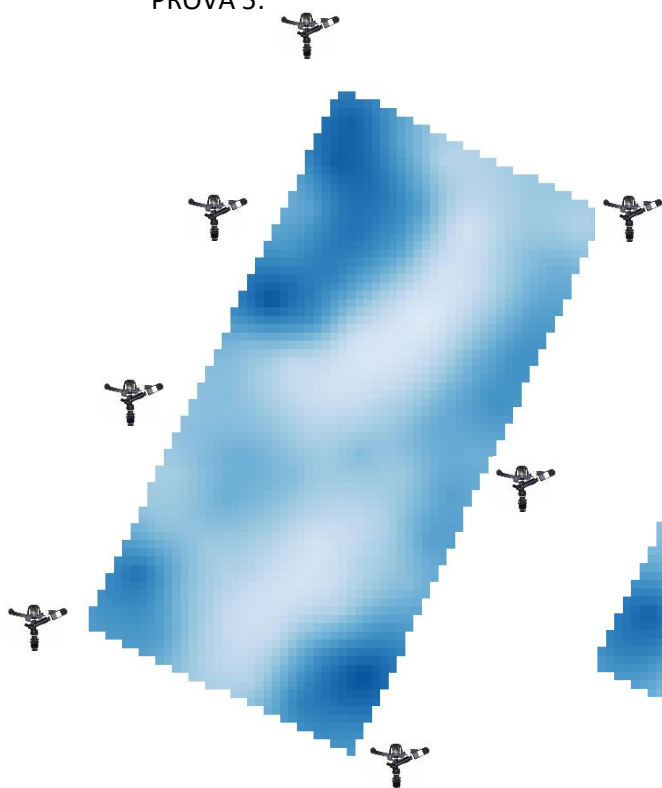
L'aspersor que te com a codi A1'.2, veiem uns mapes de pluviometria amb un patró molt semblant, mantenint un CU similar en les diferents repeticions, factor que ens confirma la veracitat de les dades adquirides.

Pel que fa a la direcció del vent queda clar que es un factor a tindre en compte, si ens fixem en les proves 1, 2 i 4, tenen una mateixa direcció obtenint un mapes pluviomètrics molt similars a diferència de la prova 3 on es veu un canvi tant en la direcció del vent com en la distribució d'aigua a la parcel·la.

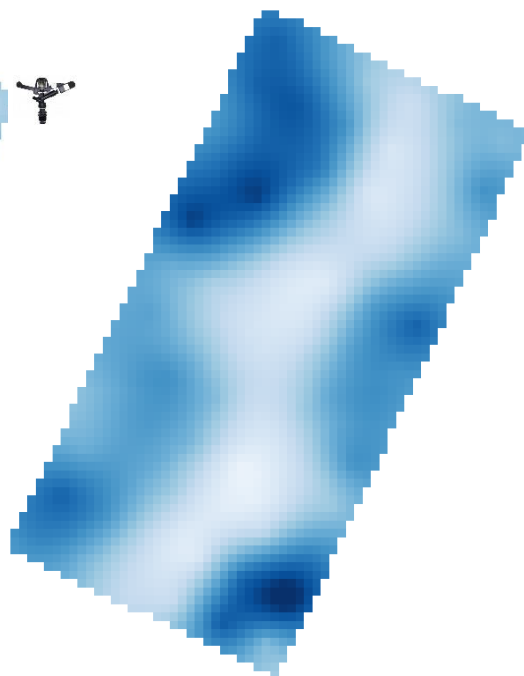
Si ens fixem en les 4 repeticions l'aplicació d'aigua és major a les zones entre els aspersors indicant-nos una baixa separació entre aspersors. Si ho comparem amb el solapament calculat en l'apartat *grau de solapament* d'aquest treball veiem que aquest és el model amb major solapament entre els aspersors dels que han treballat a la pressió de 200 kPa.

ASPERSOR 2.2 (2 BAR)

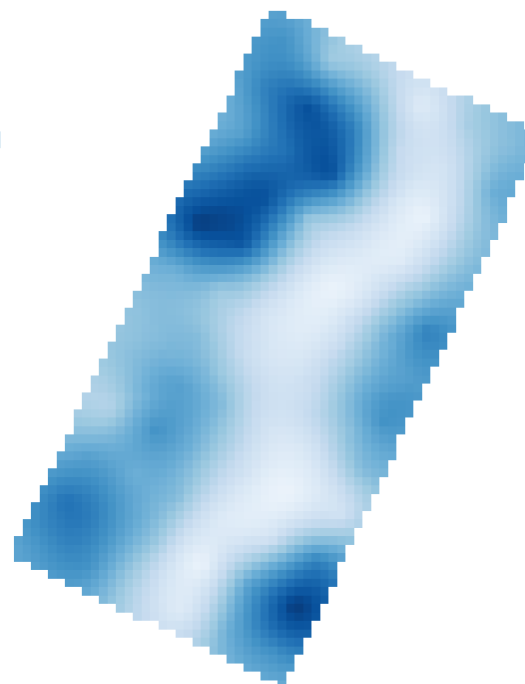
PROVA 5:



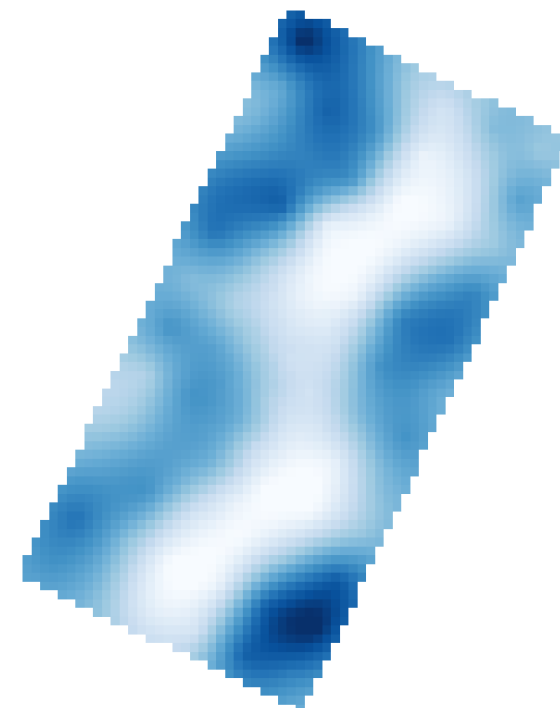
PROVA 6:



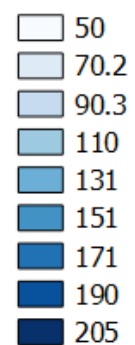
PROVA 7:



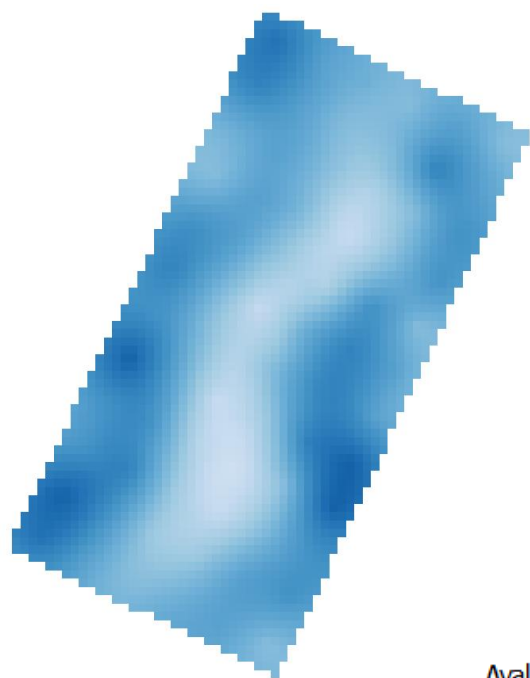
PROVA 8:



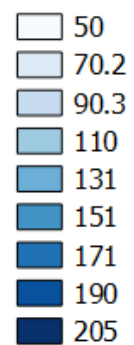
Avaluació a 2 BAR



PROVA 9:



Avaluació a 2 BAR



<i>Prova</i>	<i>Aspersor</i>	<i>Data</i>	<i>V vent ajustat(m/s)</i>	<i>Direcció</i>
5	A2'.2	27/02/2019	1.35	SSO
6		28/02/2019	2.49	O
7		28/02/2019	2.29	O
8		04/03/2019	2.60	OSO
9		05/03/2019	0.93	E

<i>Prova</i>	<i>Aspersor</i>	<i>CU (%)</i>	<i>UD (%)</i>	<i>Mitja pluv.rec</i>
5	A2'.2	80.10	77.14	122.43
6		75.10	63.30	127.71
7		74.50	60.72	119.86
8		69.53	51.22	119.31
9		85.44	78.09	133.75

El model A2'.2, tenim uns mapes de pluviometria que segueixen un patró pluviomètric similar en les diverses proves.

A primer cop d'ull veiem que es repeteix la mateixa forma de distribució que l'aspersor A2.3, aquesta forma es característica quan hi ha una separació excessiva entre aspersors. Corroborant-ho si ho comparem amb els resultats obtinguts en l'apartat "grau de solapament" d'aquest treball, veiem un solapament mínim per aquest model dins dels aspersors que han treballat a la pressió de 200 kPa.

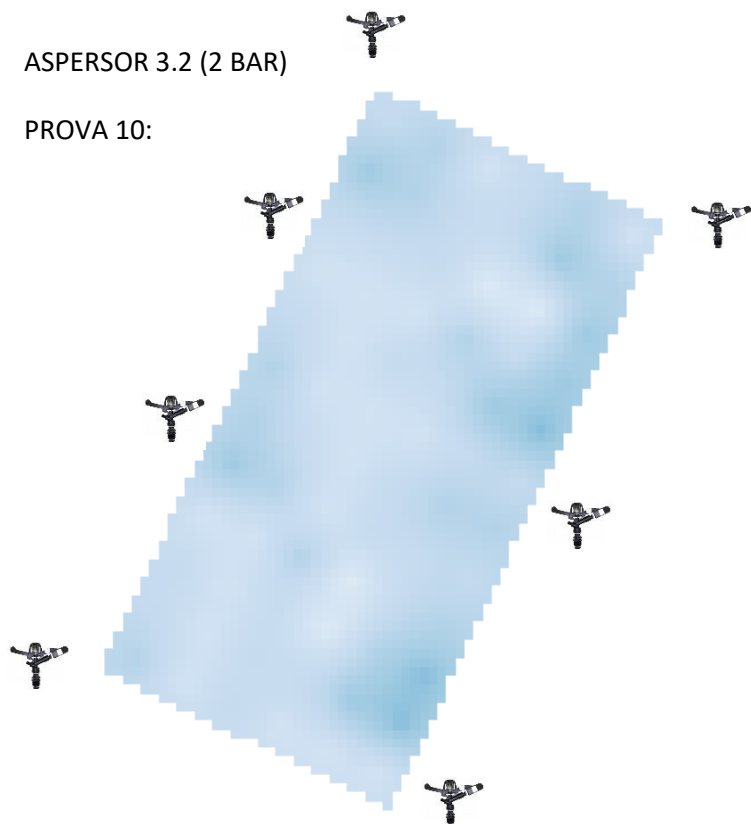
Un altre fenomen que s'observa molt bé en aquest tipus de mapes és el canvi de la direcció del vent, si comparem les proves 5, 6, 7 i 8 tenen una distribució similar, no són idèntics al 100%, no obstant segueixen un patró molt similar, ja que la direcció del vent varia lleugerament entre elles. Si aquestes es comparen amb la prova 9 observem com el patró de distribució canvia lleugerament fet que ens indica un canvi de direcció en el vent.

Si comparem els coeficients d'uniformitat d'aquests dos grups tenim el següent; les proves 5, 6, 7 i 8 tenen uns valors molt similars, entre el màxim i el mínim hi ha una oscil·lació d'un 10%, no obstant en la prova 8 tenim un augment considerable del vent en comparació la prova 18 sent aquesta la que ens marca el màxim valor de CU. Pel que fa la prova 9 no es pot comparar amb cap altre ja que és l'única amb un canvi dràstic de la direcció del vent.

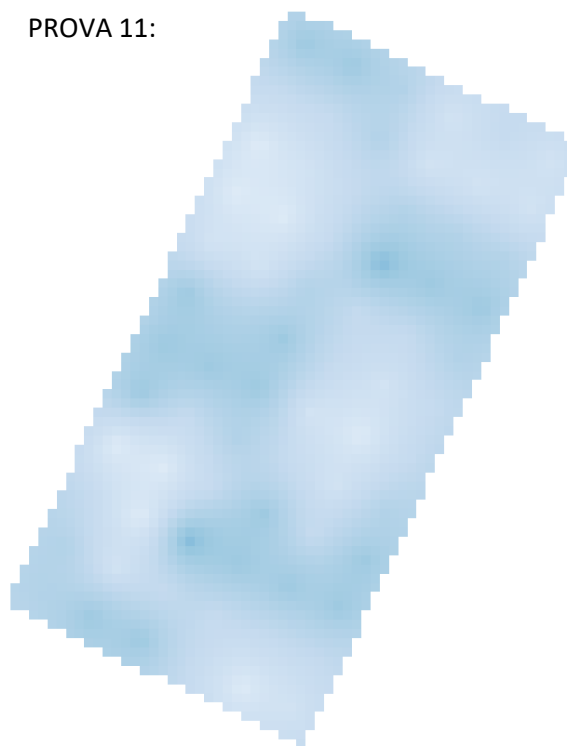
Pel que fa les mitges pluviomètriques recollides dins d'aquest grup veiem que són similars, ara bé si es comparen amb la prova 9 veiem un augment considerable en aquesta, podent afirmar que aquest model d'aspersor es veu afectat negativament a l'augmentar la intensitat del vent.

ASPERSOR 3.2 (2 BAR)

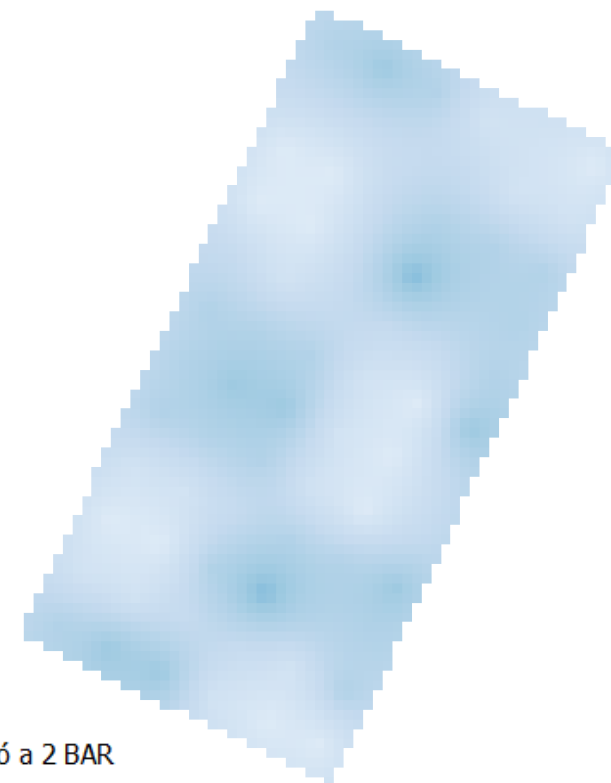
PROVA 10:



PROVA 11:

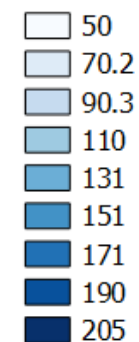


PROVA 12:



Prova	Aspersor	Data	V vent ajustat(m/s)	Direcció
10	A3'.2	05/03/2019	1.35	NE
11		05/03/2019	0.93	SE
12		05/03/2019	0.93	SE
13*		06/03/2019	1.97	NE

Avaluació a 2 BAR



Prova	Aspersor	CU (%)	UD (%)	Mitja pluv.rec
10	A3'.2	89.77	85.71	91.39
11		87.45	81.07	93.19
12		87.64	80.98	90.56
13*		87.96	87.65	90.00

*No s'ha pogut obtenir un mapa de la prova 13 degut a un error causat pel programa de predicció Geoestadística (Vesper) a l'hora d'interpretar les dades.

El model A3'.2, tenim uns mapes de pluviometria que segueixen un patró volumètric semblant en les diverses proves, mantenen un coeficient d'uniformitat i una mitja pluviomètrica molt similar en les diferents repeticions, factor que ens confirma la veracitat de les dades adquirides.

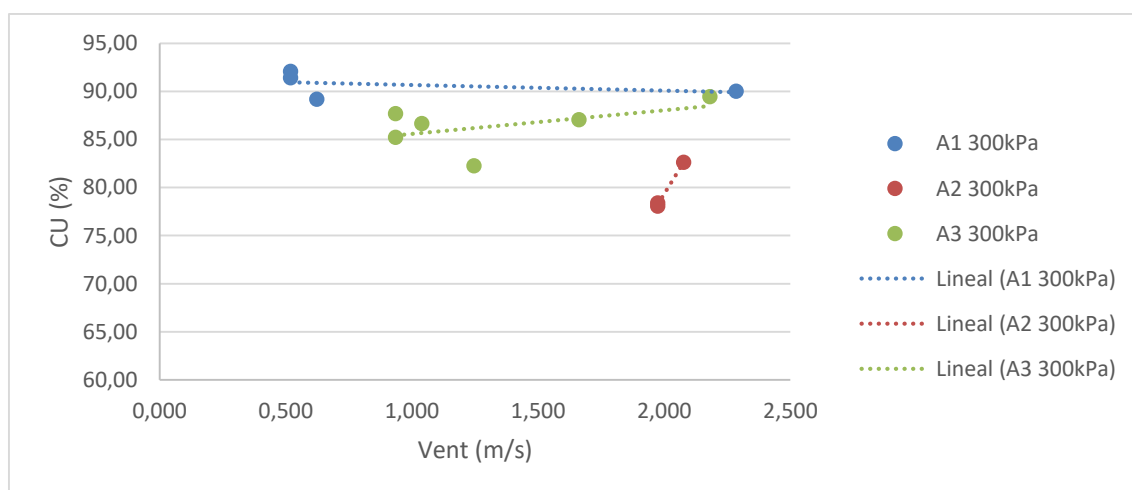
Si ens fixem en la direcció del vent que ens trobem en cada prova veiem que la 11 i 12 coincideix, i si ens fixem en la fora que agafa en els mapes veiem que aquests dos tenen més similituds que la prova 10 on la direcció del vent canvia.

Si comparem els coeficients d'uniformitat d'aquests dos grups tenim el següent; les proves 11 i 12 tenen uns valors molt similars, entre el màxim i el mínim hi ha una oscil·lació inferior a l'1%, i una velocitat del vent igual, podent afirmar la validesa de les proves. Ara bé si ens fixem en la prova 10 veiem un augment de la intensitat del vent i el canvi de la direcció, obtenint un augment del coeficient d'uniformitat i una millor distribució de l'aigua, no podem considerar aquesta tendència com un fet estàndard ja que no tenim cap més repetició i no es pot corroborar

4. Comparació dels resultats obtinguts entre aspersors

En aquesta primera fase d'assajos s'ha treballat amb una pressió de 300 kPa, realitzant diverses repeticions pels 3 tipus d'aspersors que disposàvem. A priori s'han intentat realitzar diferents assajos per tal d'obtenir diferents lectures dins d'un rang de vent de 0 a 15 km/h, podent així obtenir un diagrama ideal per a cada model d'aspersor. Ara bé a la pràctica ja és més difícil degut a la irregularitat del vent. S'han descartat 4 proves ja que teníem uns valors de pressió que marxaven del valor fixat.

A continuació observem quina ha estat l'afectació que ha tingut el vent sobre el coeficient d'uniformitat (CU).



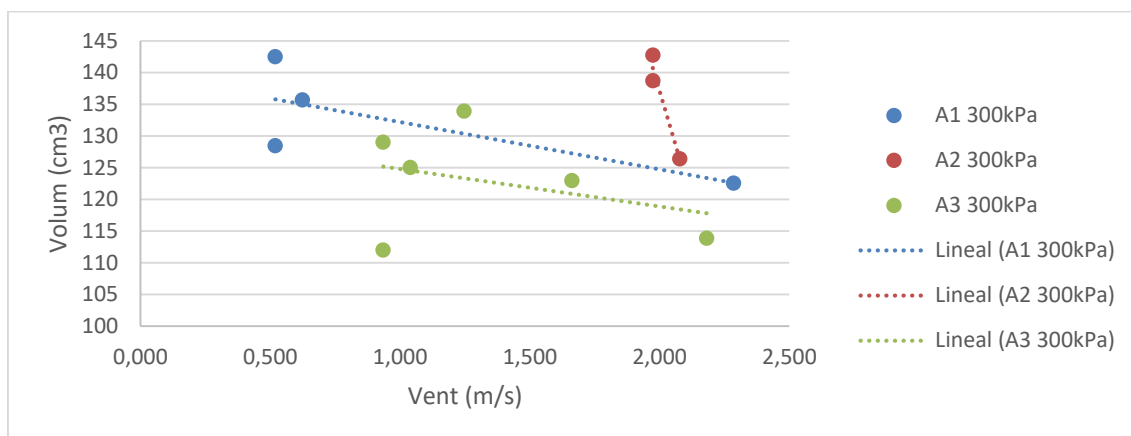
Gràfic 5. Variació del CU (%) en front la velocitat del vent V (m/s) en un marc triangular 18x18m, a 300 kPa.

Així doncs, les avaluacions d'aquesta primera fase s'han realitzat amb un rang de vents que oscil·len entre 0,5 i 2,5 m/s, sent el 85% de les avaluacions inferior al llindar de 2,1 m/s a partir del qual (Faci et al. (1991)) determina un descens dràstic de la uniformitat de reg.

En relació al model d'aspersor numero 1 i 3, podem dir que té un comportament similar als diferents estudis de reg per aspersió.

En relació als resultats obtinguts per l'aspersor 2, es van realitzar amb unes condicions de vent molt similars, és per això que no podem treure cap conclusió fidedigna sobre la influència del vent. No obstant aquest model ens dona unes uniformitats notablement més baixes que la resta. Un dels motius perquè es dona aquest fet pot ser degut a un menor abast, si ho comparem amb els mapes de pluviometria obtinguts podem afirmar aquesta tendència, concretament aquest model d'aspersor hauria de treballar amb un marc inferior, d'aquesta manera obtindríem un millor solapament, augmentant així el CU.

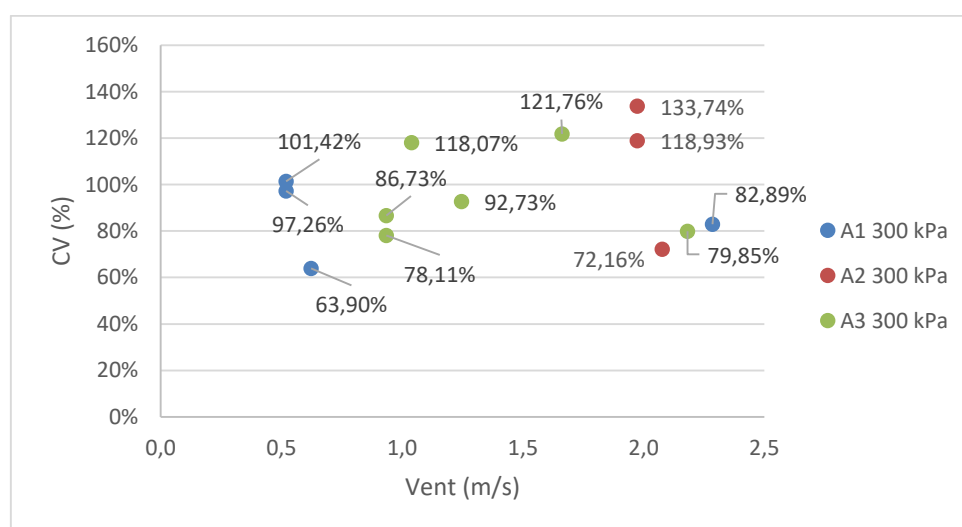
En el gràfic 6 observem que succeeix amb els volums mitjos recollits en funció de la velocitat del vent. Pel que fa a l'aspersor 1, el volum recollit disminueix a mesura que augmenta la velocitat del vent. Diferents autors determinen que aquestes pèrdues són causades per l'arrossegament i per l'evaporació en menor mesura (Tarjuelo et al. (2005), Jiménez et al. (2008), Yacoubi et al. (2012)).



Gràfic 6. Variació del volum mig recollit (cm^3) amb la velocitat del vent V (m/s) en un marc triangular 18x18m, a 300 kPa.

En relació al coeficient de variació (CV), com major sigui la simetria entre les dos repeticions major homogeneïtat en els volums recollits pels pluviòmetres. Aquest fet el podem observar al gràfic 7, aquest ens mostra el coeficient de variació en front la velocitat del vent.

Amb les dades disponibles només es valorable l'aspersor 3, es pot veure una tendència a augmentar el CV a l'incrementar el vent, això pot ser degut que amb el vent varia la posició de l'eix de simetria. En la resta de dades veiem que per condicions similars de vent varia bastant el CV la qual cosa indica la influència de l'error de mesura.

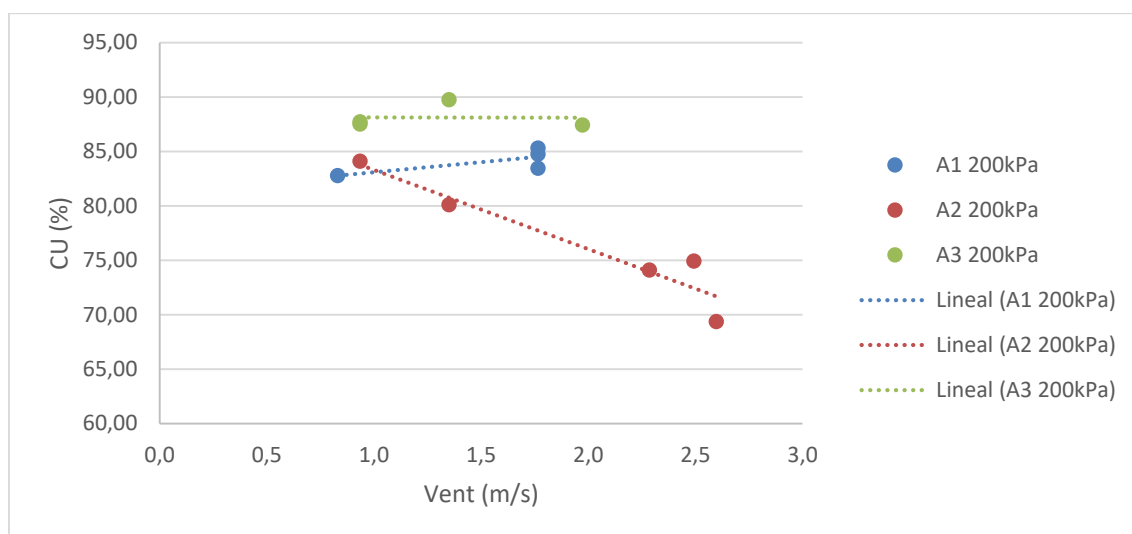


Gràfic 7. Variació del Coeficient de variació (CV) amb la velocitat del vent V (m/s) en un marc triangular 18x18m, a 300 kPa.

En la segona fase d'assajos a 200 kPa, ha constatat de diverses repeticions pels 3 tipus d'aspersors que disposàvem, concretament s'han realitzat un total de 13 avaluacions, 4 amb model d'aspersor 1, 5 amb model 2 i 4 amb el model 3.

Així doncs, les avaluacions d'aquesta segona fase s'han realitzat amb un rang de vents que oscil·len entre 0,83 i 2,6 m/s, sent el 77% de les avaluacions inferior al llindar de 2,1 m/s a partir del qual (Faci et al. (1991)) determina un descens dràstic de la uniformitat de reg.

Es pot observar la incidència del vent sobre el coeficient d'uniformitat (CU) en el gràfic 8.



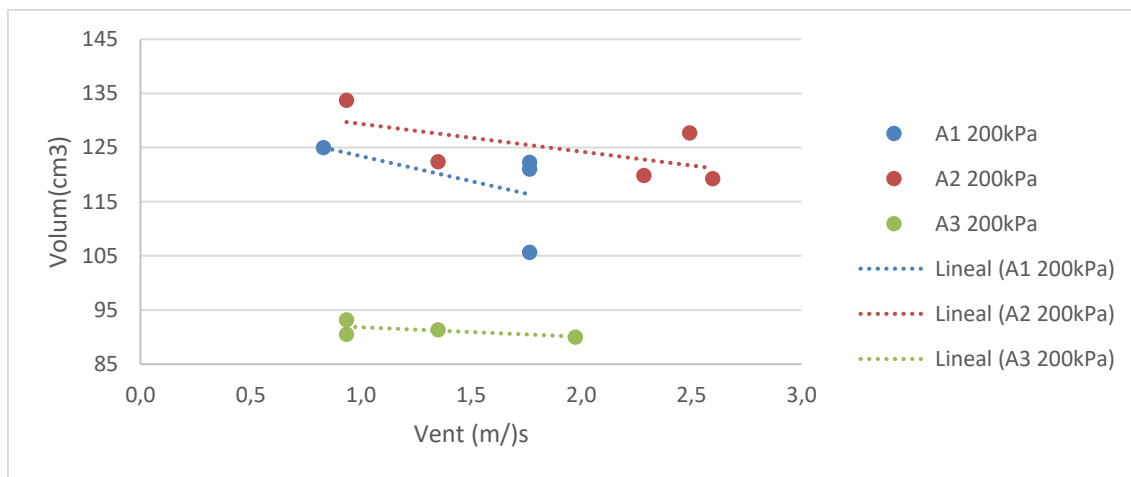
Gràfic 8. Variació del CU (%) en front la velocitat del vent V (m/s) en un marc triangular 18x18m, a 200 kPa

En relació al model d'aspersor numero 2, es veu que a mesura que augmenta la velocitat del vent disminueix el coeficient d'uniformitat (CU).

Per contra l'aspersor 1 mostra el contrari, augmenta lleugerament la uniformitat a mesura que augmenta el vent. Podem veure que es repeteix aquesta tendència com l'aspersor 2 de les proves fetes a 300 kPa. Si ho comparem amb els resultats obtinguts per Barberà et al. (2017), veiem que en les proves que va realitzar també succeeix el mateix.

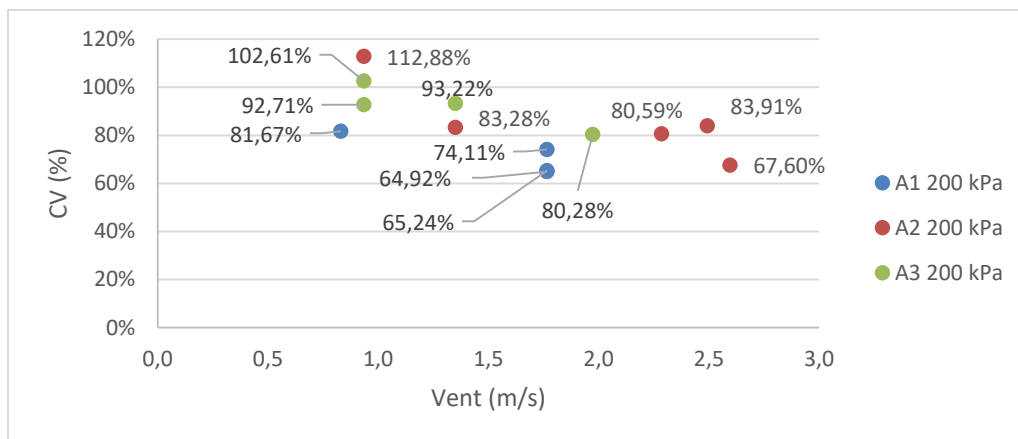
Si comparem la gràfica del CU amb la forma del gràfic 2 on es mostra la corba de distribució, veiem que tendeix a generar una forma rectangular, aquestes acostumen a obtenir CU alts amb una baixa presència de vent, disminuint ràpidament el valor del CU a mesura que augmenta el vent.

Pel que fa al volum recollit en funció de la velocitat de vent (V), observem que tendeix a disminuir el volum recollit a l'augmentar la velocitat del vent, degut a pèrdues per arrossegament i en menor mesura per les pèrdues per evaporació. Presentant uns resultats similars als obtinguts per l'aspersor 1 en la fase on treballàvem a 300 kPa.



Gràfic 9. Variació del volum recollit (cm^3) amb la velocitat del vent V (m/s) en un marc triangular 18x18m, a 200 kPa.

Finalment si analitzem el coeficient de variació, mostrat en el gràfic 10, veiem diferències notables de treballar a 200 kPa a 300 kPa vist a la gràfica 7. En aquest cas podem veure una disminució del CV a mesura que augmenta la velocitat del vent, fet que no passa en les proves fetes a 300 kPa, això només és explicable per l'influència de l'error de mesura fent que hagi canviat la tendència observada en les proves a 300 kPa.



Gràfic 10. Variació del coeficient de variació (CV) enfront la velocitat del vent V (m/s) en un marc triangular 18x18m, a 200 kPa.

4.1. Comparació entre les pressions de 300 kPa i 200 kPa.

En les taules tenim un resum estadístic dels diferents coeficients d'uniformitat en funció del tipus d'aspersor, la pressió de treball i els valors de vent, desglossat en dos intervals de vent, podent així observar l'efecte del vent sobre la uniformitat.

		CU mig		
Vent (m/s)	kPa	Asp 1	Asp 2	Asp 3
0 - 1,5	300	91	-	86
		Asp 1'	Asp 2'	Asp 3'
	200	83	83	88
		Asp 1	Asp 2	Asp 3
1,5 - 3	300	90	87	89
		Asp 1'	Asp 2'	Asp 3'
	200	85	74	88

Taula 10. Resum dels valors de CU mitjos obtinguts en els diferents assajos, en funció de la pressió i el vent.

Si ens fixem com es comporten els diferents models d'aspersor en funció de la pressió, veiem que no s'obté una diferència significativa si es comparen els diferents coeficients d'uniformitat en els dos intervals de vent, quedant contrastat si ens fixem en l'anàlisi de covariància realitzat en el següent apartat.

Malauradament de l'aspersor 2 no tenim assajos en condicions de poc vent, es per això que no podem treure una conclusió concreta.

		CU màx		
Vent (m/s)	kPa	Asp 1	Asp 2	Asp 3
0 - 1,5	300	92	-	87
	200	83	84	90
1,5 - 3	300	90	82	89
	200	85	75	87

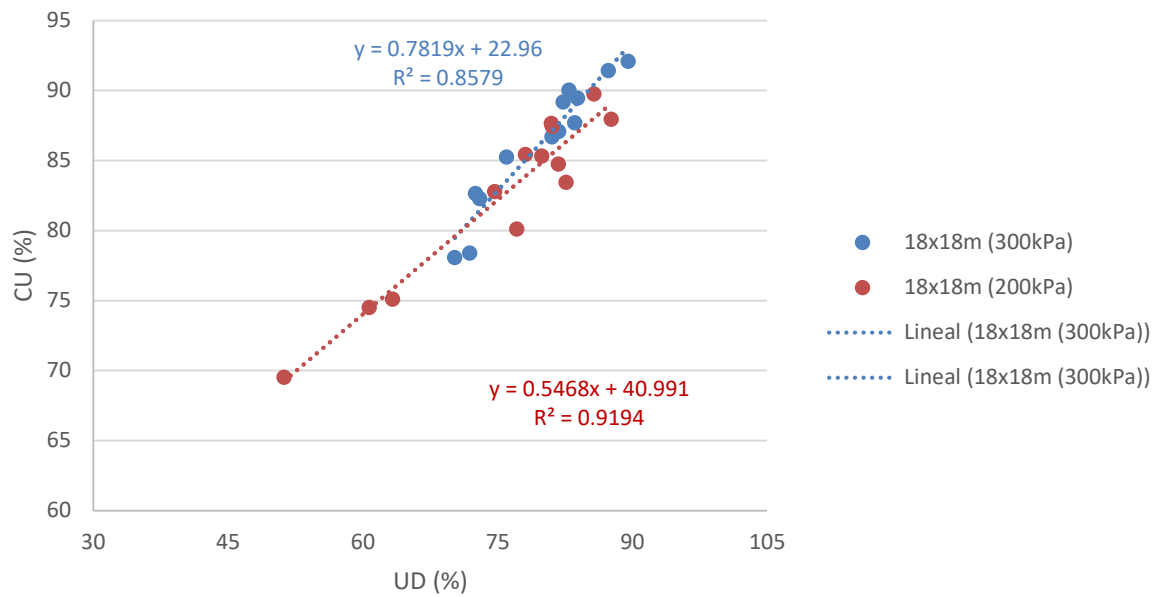
Taula 11. Resum dels valors de CU màxims obtinguts en els diferents assajos, en funció de la pressió i el vent.

		CU mín		
Vent (m/s)	kPa	Asp 1	Asp 2	Asp 3
0 - 1,5	300	89	-	82
	200	83	80	88
1,5 - 3	300	90	78	87
	200	83	69	88

Taula 12. Resum dels valors de CU mínims obtinguts en els diferents assajos, en funció de la pressió i el vent.

Si observem els valors màxims i mínims d'uniformitat, obtenim millors resultats a vents inferiors a 1,5 m/s, tant si treballem a pressió de 300 kPa o 200 kPa, no obstant no es veu una diferència notable, afirmant que aquest no ha estat un factor limitant.

No observem diferències significatives pel que fa les diferents pressions de treball, obtenint uns resultats molt similars.



Gràfic 11. Relació entre el Coeficient d'Uniformitat de Christiansen (CU) i la Uniformitat de Distribució (UD).

En aquest gràfic es mostra la relació entre el coeficient d'uniformitat (CU) i la uniformitat de distribució (UD), d'aquesta manera podem comparar els resultats de les avaluacions realitzades amb les d'altres autors, utilitzarem l'equació (Tarjuelo et al. 2005).

$$CU = 1 - 0,63 (1 - UD)$$

$$CU = 0,37 + 0,63 \cdot UD$$

En les nostres avaluacions s'ha trobat la següent la següent formula que relaciona la CU amb la UD.

$$CU = 0,78 \cdot UD + 33,25 \text{ equació vàlida per les avaluacions 18x18 (300kPa).}$$

$$CU = 0,54 \cdot UD + 40,9 \text{ equació vàlida per les avaluacions 18x18 (200kPa).}$$

4.2. Anàlisi de la variància

Per tal de poder distingir si un aspersor ha funcionat millor o pitjor que els altres, s'ha realitzat un anàlisi de la variància mitjançant la utilització del programa d'anàlisi estadístic "R". Disposant de les dades numèriques del vent, la pressió i el coeficient d'uniformitat (CU), i com a factor tenim els diferents models d'aspersor.

El que primer s'ha fet es veure si el vent és significatiu amb els resultats obtinguts del coeficient d'uniformitat per cada model d'aspersor, s'ha realitzat un test "ANOVA" aquest ens permet fer una comparació de diversos grups amb una variable quantitativa.

Un cop realitzat l'anàlisi de variància ens indica que el vent no és un factor significatiu en la variació del coeficient d'uniformitat la qual cosa xoca amb l'experiència. El motiu d'aquest resultat potser degut a la variabilitat dels resultats obtinguts. Fet que canvia si ens fixem en el model d'aspersor, en aquest cas si que es considera com a un factor significatiu a analitzar.

```
modelo.int <- lm(CU ~ Vent*Aspersor, data=aspersors)
Anova(modelo.int)

## Anova Table (Type II tests)
##
## Response: CU
##              Sum Sq Df F value    Pr(>F)
## Vent          25.710  1  7.8491 0.0141350 *
## Aspersor      316.116  5 19.3013 7.82e-06 ***
```

Figura 18. Comprovació d'interacció entre el vent i l'aspersor.

Els asteriscs ens indiquen si l'element estudiat es significatiu o no, en un rang de 0 a 3, sent 0 menys significatiu i 3 molt significatiu.

Sabent això s'ha realitzat el test HSD (Honestly-significant-difference) de Tukey, aquest test ens permet fer comparacions múltiples a partir d'un factor el qual té diferents nivells.

S'ha obtingut una agrupació per grups en funció de les diferències significatives entre els valors mitjos del coeficient d'uniformitat per cada model d'aspersor.

Model d'aspersor	Coeficient d'uniformitat mig	Grup
A1.3 (300 kPa)	90.68	a
A3'.2 (200 kPa)	88.21	a
A3.3 (300 kPa)	86.42	ab
A1'.2 (200 kPa)	84.10	ab
A2.3 (300 kPa)	79.71	bc
A2'.2 (200 kPa)	76.93	c

Taula 13. Classificació per grups dels diferents models d'aspersor segons el seu coeficient d'uniformitat (CU).

*Els valors que comparteixen una mateixa lletra no són significativament diferents.

Si ens fixem amb la taula 14 veiem que es generen 4 grups diferents, pel que fa als aspersors A1.3, A1'.2, A3'.2 i A3.3 i no tenen diferències significatives entre ells, fora d'aquest grup quedarien els models A2.3 i A2'.2, concordant amb els resultats obtinguts a l'apartat "3. L'avaluació de la uniformitat de reg en parcel·la" d'aquest treball on es veu que aquests dos aspersors són els que obtenen pitjors resultats.

CONCLUSIONS

Un cop realitzades i analitzades les diferents avaluacions podem afirmar:

- Pel que fa el coeficient d'uniformitat (CU) veiem que no existeix una diferencia significativa en relació a les dos pressions utilitzades.
- La pressió no es un factor limitant, pel que fa al model A1 és el que obté millors resultats amb els models que treballen a 300 kPa, no obstant en el cas del model A3 s'han obtingut millors resultats amb el model que treballa a 200 kPa.
- Un dels efectes distorsionador de la uniformitat és el vent, no obstant no s'ha observat una diferencia notable en la variació del coeficient d'uniformitat en augmentar la velocitat del vent amb el rang de 0 a 2,5 m/s.
- Pel que fa la variació de volums recollits i l'influència del vent si que podem afirmar que s'ha vist una tendència a la disminució d'aquests a l'augmentar el vent, tant a pressió de 300 kPa com a 200 kPa.
- S'ha observat una influencia notable amb la direcció del vent en l'obtenció d'una bona distribució de l'aigua, no existeix una direcció correcta sinó que dependrà de la orientació de les línies, observant-se els principals efectes negatius als perímetres de la zona regada. Normalment aquest no és un dels factors que s'acostumi a tindre en compte, en aquest cas ha quedat demostrat que pot tindre certa influencia en la correcta distribució de l'aigua al camp, quedant plasmat en el conjunt de mapes pluviomètrics obtinguts.
- S'ha observat que l'aspersor 2 tant el model provat a 200 kPa com a 300 kPa obté uns valors de solapament notòriament inferiors a la resta d'aspersors, això és degut a una mala selecció dels broquets d'aspersor o bé que el marc no és l'adient pels models provats.

BIBLIOGRAFIA

- Barbera, J. 2017. Viabilitat del reg per aspersió a baixa pressió. Octubre 2017. Treball final de grau, ETSEA.
- Chen, D., Camp; Wallender, W. W. (1984). Economic sprinkler selection, spacing, and orientation. Transactions of the ASAE, 27(3), 737-0743.
- Corominas, 2010. Agua y energía en el riego, en la época de la sostenibilidad. Ingeniería del Agua, Vol. 17, No 3, Septiembre 2010.
- Dechmi, F., Playán, E. Campo, J. Martínez-Cob, A. Faci, J. M., Wind effects on solid set sprinkler irrigation depth and yield of maize (Zea mays). Irrig. Sci. 22, 67–77.
- Ederra I, Murugarren N. 2010. La nueva tarifa eléctrica, la escalada de precios del agua de riego. Navarra Agraria, marzo- abril 2010.
- ESYRCE, 2002-2017. Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- FAO 56, 2006. RIEGO Y DRENAJE- Evapotranspiración del Cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.
- Faci González, J.M., Bercero, A. 1991. Efecto del viento en la uniformidad y en las pérdidas por evaporación y arrastre en el riego por aspersión. Inv. Agric. Prod. Prot. Veg. 6 (2): 171–182.
- Guixà, X, Latorre, J, Sisquella, M, Energia i regadiu. Bombament solar. (Març, 2019). Dossier tècnic nº96.
- ISO Standard 7749 1-2. 1990. Agricultural Irrigation Equipment. Rotating Sprinklers. Part 1- 2. Uniformity of Distribution and Test Methods.
- Jiménez, M. 2008. La distribución del agua bajo riego por aspersión estacionario y su influencia sobre el rendimiento del cultivo de cebolla (Allium cepa L.). Tesis Doctoral. ETSIA, Universidad de Castilla-La Mancha. Albacete-España. 152 p.
- Laserna Arcas, S., Montero Martínez, J., Sheikhesmaeili, O., Alcázar Bascuñana, E. Análisis de la uniformidad de riego en sistemas de aspersión semiportátil con aspersores de gran tamaño. XXXIV Congreso Nacional de Riegos, Sevilla 2016.
- Merriam, J. L., Keller, J. 1978. Farm Irrigation System Evaluation. A Guide for Management. Utah State University, Logan, Utah, EE UU. 271 páginas.
- Merriam, J. L., Shearer, M.N., i Burt, C.M. (1980): Evaluating irrigation Systems and practices. En: Design and operation of farm irrigation Systems (M.E Jensen ASAE monograph n.3, pp. 721-760).
- Monserrat, J. Espaciamento entre aspersores 2019. ETSEA Lleida.

- Montero, J. 1999. Análisis de la distribución de agua en sistemas de riego por aspersión estacionario. Desarrollo del Modelo de Simulación de Riego por Aspersión (SIRIAS). Tesis Doctoral. ETSIAUniversidad de Castilla-La Mancha.
- S. Yacoubi, K. Zayani, A. Slatni and E. Playán. 2012. Assessing Sprinkler Irrigation Performance Using Field Evaluations at the Medjerda Lower Valley of Tunisia. Engineering, Vol. 4 No. 10.
- Salvatierra Bellido, B., Morillo Velarde, R., Pérez Urrestarazu, L., Andrades Gonzalez, J. A., & Bermejo Corrales, J. L. 2016. Ahorro energético en riego por aspersión. Pruebas de Nuevos aspersores en banco automático con viento. XXXIV Congreso Nacional de Riegos, Sevilla 2016. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica.
- Talel Stambouli, Nery Zapata, Enrique Playán y Jose M. Faci. Determinación al aire libre de la curva radial de descarga de agua de un aspersor con boquillas de plástico. Mayo 2018. 1r Congreso Regional de Regadíos Modernizados.
- Tarjuelo J.M., Montero J., Valiente M., Honrubia F.T., Ortiz J. (1999a). Irrigation uniformity with medium size sprinklers part I: Characterization of water distribution in no-wind conditions. Transactions of the ASAE 42 (3): 665-676.
- Tarjuelo, J. 2005. El riego por aspersión y su tecnología. 3ª Edición revisada y ampliada. Ediciones Mundi Prensa. España.
- UNE 68-072-86. 1986. Aspersores rotativos. Requisitos generales y métodos de ensayo. AENOR, España.
- UNE-EN 134742-2. 2006. Técnicas de riego. Sistemas de aspersión de cobertura total. Parte 2: Métodos de ensayo. AENOR, España.
- “Millorar la gestió de l’aigua”, disponible a: http://agricultura.gencat.cat/ca/ambits/desenvolupament-rural/infraestructures-agraries/dar_regadius/regadiu/millorar-gestio-aigua
- Servei d’informació geogràfica, disponible a: https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/apartado6_tcm30-149960.pdf
- Servei d’informació geogràfica, disponible a: https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/mapa23_tcm30-149866.pdf
- Servei d’informació geogràfica, disponible a: https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/mapa25_tcm30-149851.pdf

ANNEXOS

Annex 1. Dades meteorològiques Agencia Estatal de Meteorologia

1. Introducció

Les dades meteorològiques utilitzades han estat facilitades per l'Agencia estatal de meteorologia (AEMET), captades per l'estació 9771C situada a uns 500 metres de la parcel·la d'avaluacions, tal com es pot observar en la figura 19.



Figura 19. Localització de la parcel·la d'assajos i l'estació meteorològica (AEMET).

La velocitat del vent de les dades adquirides es mesura en m/s, pel que fa la direcció s'expressa en graus respecte el nord geogràfic en sentit horari (de 0º a 359º).

Els sensors estan instal·lats a una alçada de 10 metres, d'aquesta manera es minimitzen els efectes del sol en el flux horitzontal de l'aire. La mesura del vent es realitza a través d'anemòmetres d'hèlix o de culleres i la direcció a través d'un penell.

2. Dades facilitades per AEMET

Les dades facilitades per l'AEMET referents al vent són la mitjana de la velocitat (VVM10), la mitjana de la direcció (DV10M) amb intervals d'una hora.

Annex 2. Resultats de les avaluacions realitzades.

Avaluació d'uniformitat, pressió de treball 300 kPa.

Avaluació 1:

Característiques de l'Avaluació					
Data	22/11/2018	Hora d'inici:	09:10	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A1.3			Vent mig (AEMET) (m/s)	0,52
Pressió mitja aspersors(kPa):	321	Hora final:	10:10	Direcció (AEMET):	S

Volum recollit (cm ³)					
160	160	140	120	130	170
150	150	140	130	130	160
140	140	140	170	150	160
130	140	140	150	150	160
160	140	140	130	130	160
150	150	150	120	120	140
160	150	130	120	120	130
170	150	130	120	120	160
140	150	120	150	150	170
150	150	130	130	150	160
170	150	130	120	130	140
140	140	140	120	140	130

Avaluació 2

Característiques de l'Avaluació					
Data	22/11/2018	Hora d'inici:	10:30	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A1.3			Vent mig (AEMET) (m/s)	0,62
Pressió mitja aspersors(kPa):	305	Hora final:	11:30	Direcció (AEMET):	SE

Volum recollit (cm ³)					
150	150	150	110	120	140
160	140	140	130	130	160
130	150	140	160	150	150
140	140	140	120	130	140
160	140	130	100	110	150
140	140	150	100	110	110
160	150	130	110	110	120
180	150	130	120	130	160
130	170	130	150	130	150
140	150	130	120	120	140
170	150	120	100	110	140
140	140	130	100	130	120

Avaluació 3

Característiques de l'Avaluació					
Data	22/11/2018	Hora d'inici:	11:50	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A1.3			Vent mig (AEMET) (m/s)	0,52
Pressió mitja aspersors(kPa):	315	Hora final:	12:50	Direcció (AEMET):	SE

Volum recollit (cm ³)					
130	140	140	120	110	160
140	120	140	120	120	140
110	120	130	150	130	140
110	120	120	130	130	140
140	130	120	110	120	130
140	130	150	120	110	110
140	140	130	120	120	110
150	140	130	110	120	140
120	140	120	140	140	130
130	150	130	130	130	130
150	140	120	110	110	120
130	130	130	110	130	110

Avaluació 4

Característiques de l'assaig					
Data	06/03/2019	Hora d'inici:	12:52	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A1.3			Vent mig (AEMET) (m/s)	2,29
Pressió mitja aspersors(kPa):	307	Hora final:	13:52	Direcció (AEMET):	SE

Volum recollit (cm ³)					
130	130	110	130	90	80
145	140	110	120	120	140
135	140	130	120	130	140
120	120	140	130	120	140
135	120	100	110	130	150
140	130	90	100	120	130
130	120	100	100	120	100
130	130	110	90	100	130
120	120	120	120	120	150
110	120	130	130	130	150
120	120	120	110	140	160
130	130	110	110	120	110

Avaluació 5

Característiques de l'assaig					
Data	08/11/2018	Hora d'inici:	09:40	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A2.3			Vent mig (AEMET) (m/s)	1,97
Pressió mitja aspersors(kPa):	295	Hora final:	10:40	Direcció (AEMET):	N

Volum recollit (cm ³)					
110	110	100	250		
165	120	95	120	210	200
180	170	110	100	120	150
165	160	120	110	115	145
180	150	100	110	165	200
170	130	100	120	170	175
110	100	90	140	180	130
135	90	90	140	170	170
150	130	100	100	130	170
150	150	100	110	110	145
160	145	100	100	150	200
160	110	100	120	185	195

Avaluació 6

Característiques de l'assaig					
Data	08/11/2018	Hora d'inici:	11:00	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A2.3			Vent mig (AEMET) (m/s)	1,97
Pressió mitja aspersors(kPa):	295	Hora final:	12:00	Direcció (AEMET):	N

Volum recollit (cm ³)					
110	115	115	160		
140	120	90	160	250	220
170	160	100	110	140	170
170	165	120	110	110	150
210	150	100	120	170	200
180	130	90	130	180	190
110	100	90	155	190	140
120	90	85	140	190	180
150	120	100	110	150	170
160	140	100	110	120	150
170	140	100	120	170	210
165	115	100	130	200	200

Avaluació 7

Característiques de l'assaig					
Data	10/04/2019	Hora d'inici:	12:15	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A2.3			Vent mig (AEMET) (m/s)	2,08
Pressió mitja aspersors(kPa):	295	Hora final:	13:15	Direcció (AEMET):	SO

Volum recollit (cm ³)					
160	160	100	90	120	160
150	170	140	90	90	140
130	160	160	90	80	90
160	170	140	90	90	100
180	160	110	80	120	140
130	120	90	90	130	140
140	130	90	90	120	150
120	150	120	100	110	150
140	150	130	100	110	130
140	150	130	100	120	130
170	150	110	100	130	150
140	145	115	110	130	130

Avaluació 8

<i>Característiques de l'assaig</i>					
Data	08/11/2018	Hora d'inici:	12:30	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A3.3			Vent mig (AEMET) (m/s)	1,66
Pressió mitja aspersors(kPa):	295	Hora final:	13:30	Direcció (AEMET):	N

Volum recollit (cm3)					
110	110	100	250		
165	120	95	120	210	200
180	170	110	100	120	150
165	160	120	110	115	145
180	150	100	110	165	200
170	130	100	120	170	175
110	100	90	140	180	130
135	90	90	140	170	170
150	130	100	100	130	170
150	150	100	110	110	145
160	145	100	100	150	200
160	110	100	120	185	195

Característiques de l'assaig					
Data	14/11/2018	Hora d'inici:	08:50	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A3.3			Vent mig (AEMET) (m/s)	1,25
Pressió mitja aspersors(kPa):	299	Hora final:	09:50	Direcció (AEMET):	NE

Volum recollit (cm ³)					
125	160	170	120	-	-
140	180	150	120	110	125
90	110	145	140	120	125
80	70	170	180	140	115
70	100	125	150	160	170
120	140	130	125	110	150
140	160	160	125	110	210
170	170	140	115	80	120
100	100	130	150	150	130
110	90	160	200	160	130
100	100	125	150	170	150
130	145	150	130	110	170

Característiques de l'assaig					
Data	14/11/2018	Hora d'inici:	10:19	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A3.3			Vent mig (AEMET) (m/s)	1,04
Pressió mitja aspersors(kPa):	306	Hora final:	11:19	Direcció (AEMET):	N

Volum recollit (cm ³)					
120	140	120	110	-	-
150	150	120	100	150	170
100	120	130	110	100	120
100	100	150	150	120	120
95	100	110	150	155	150
120	130	100	100	100	140
130	150	120	100	120	130
140	150	120	100	100	140
100	120	120	130	110	130
100	100	150	180	130	120
110	110	130	150	150	150
125	130	120	120	120	150

Avaluació 11

Característiques de l'assaig					
Data	10/04/2019	Hora d'inici:	10:49	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A3.3			Vent mig (AEMET) (m/s)	2,18
Pressió mitja aspersors(kPa):	297	Hora final:	11:49	Direcció (AEMET):	SO

Volum recollit (cm ³)					
120	120	120	100	110	110
100	90	100	100	130	120
90	110	90	110	120	120
100	110	100	110	110	100
150	140	130	110	110	110
130	130	140	130	100	110
120	110	100	120	110	120
110	110	90	110	130	130
100	120	90	100	140	120
120	120	100	110	120	110
150	140	120	120	120	90
120	110	120	140	100	80

Característiques de l'assaig					
Data	14/11/2018	Hora d'inici:	11:45	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A3.3			Vent mig (AEMET) (m/s)	0,93
Pressió mitja aspersors(kPa):	303	Hora final:	12:45	Direcció (AEMET):	NE

Volum recollit (cm ³)					
135	150	150	110	150	
130	150	130	115	120	130
90	100	140	135	120	120
80	80	150	170	130	110
80	100	120	140	140	145
130	150	140	110	100	140
130	170	160	120	100	150
140	170	140	110	95	125
100	100	140	150	140	130
100	100	150	190	150	120
100	120	120	150	150	150
130	150	140	110	120	150

Avaluació 13

Característiques de l'assaig					
Data	10/04/2019	Hora d'inici:	09:30	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A3.3			Vent mig (AEMET) (m/s)	0,93
Pressió mitja aspersors(kPa):	296	Hora final:	10:30	Direcció (AEMET):	SO

Volum recollit (cm ³)					
100	100	100	110	90	110
120	90	110	120	120	130
100	100	110	130	120	100
100	110	120	110	90	95
150	150	140	100	80	130
120	130	140	100	100	120
110	100	100	110	100	130
130	100	100	140	120	130
100	110	110	130	110	110
120	130	110	110	100	90
140	150	140	100	100	90
100	110	120	110	80	80

Avaluació d'uniformitat, pressió de treball 200 kPa.

Avaluació 1

<i>Característiques de l'assaig</i>					
Data	26/02/2019	Hora d'inici:	13:43	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A1.2			Vent mig (AEMET) (m/s)	1,77
Pressió mitja aspersors(kPa):	219	Hora final:	14:43	Direcció (AEMET):	SO

Volum recollit (cm ³)					
100	80	90	120	100	120
100	100	90	115	130	150
90	120	90	125	110	90
120	120	110	100	80	90
150	130	130	100	90	100
100	100	120	100	90	70
100	80	90	110	115	90
100	100	80	110	140	150
80	110	90	120	100	110
115	120	110	95	80	100
150	130	150	90	90	100
100	90	115	110	100	70

Avaluació 2

Característiques de l'assaig					
Data	27/02/2019	Hora d'inici:	10:04	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A1.2			Vent mig (AEMET) (m/s)	0,83
Pressió mitja aspersors(kPa):	220	Hora final:	11:04	Direcció (AEMET):	SO

Volum recollit (cm ³)					
140	170	150	90	110	80
140	150	120	120	90	100
100	110	150	140	130	150
90	100	130	205	130	120
100	100	140	140	120	150
130	150	140	110	90	110
130	170	150	90	90	100
130	130	120	120	80	110
100	100	140	140	150	150
100	90	120	190	145	150
100	100	130	130	120	150
140	150	160	130	110	90

Avaluació 3

<i>Característiques de l'assaig</i>					
Data	27/02/2019	Hora d'inici:	11:32	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A1.2			Vent mig (AEMET) (m/s)	1,77
Pressió mitja aspersors(kPa):	219	Hora final:	12:32	Direcció (AEMET):	E

Volum recollit (cm ³)					
120	120	130	120	100	90
120	110	130	140	130	100
90	115	120	190	150	140
110	110	140	140	115	120
160	150	150	100	90	100
125	140	160	100	90	80
120	120	120	120	90	90
120	100	120	120	130	150
90	110	110	170	130	130
110	110	145	120	110	130
160	150	180	110	100	100
130	135	180	110	100	90

Avaluació 4

<i>Característiques de l'assaig</i>					
Data	27/02/2019	Hora d'inici:	13:41	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A1.2			Vent mig (AEMET) (m/s)	1,77
Pressió mitja aspersors(kPa):	220	Hora final:	14:41	Direcció (AEMET):	SO

Volum recollit (cm ³)					
120	100	110	140	100	100
100	100	110	140	155	170
80	110	110	190	130	140
120	120	120	120	90	100
150	150	170	100	100	100
120	110	140	120	100	80
110	90	100	130	110	110
90	110	100	120	160	170
80	110	100	160	120	120
130	140	140	120	100	110
160	150	200	110	110	120
120	110	150	140	110	90

Avaluació 5

Característiques de l'assaig					
Data	27/02/2019	Hora d'inici:	15:26	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A2.2			Vent mig (AEMET) (m/s)	1,35
Pressió mitja aspersors(kPa):	214	Hora final:	16:26	Direcció (AEMET):	SSO

Volum recollit (cm ³)					
180	140	100	100	110	100
180	170	140	80	110	130
140	170	140	80	100	140
150	160	110	70	110	150
190	150	80	80	120	150
120	90	80	100	130	130
120	110	100	120	110	140
120	130	120	100	100	140
110	130	110	80	100	120
115	110	100	80	100	150
170	120	90	90	150	190
150	140	100	100	160	160

Avaluació 6

Característiques de l'assaig					
Data	28/02/2019	Hora d'inici:	10:54	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A2.2			Vent mig (AEMET) (m/s)	2,49
Pressió mitja aspersors(kPa):	216	Hora final:	11:54	Direcció (AEMET):	0

Volum recollit (cm ³)					
180	150	110	85	120	120
180	185	150	75	100	150
160	180	160	75	90	120
175	200	130	90	100	140
200	150	90	70	140	180
130	100	80	80	140	150
140	115	90	90	135	150
140	150	120	80	100	150
130	145	120	60	80	110
130	140	110	70	90	160
180	150	90	70	175	220
160	125	90	90	185	120

Avaluació 7

Característiques de l'assaig					
Data	28/02/2019	Hora d'inici:	12:22	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A2.2			Vent mig (AEMET) (m/s)	2,28
Pressió mitja aspersors(kPa):	217	Hora final:	13:22	Direcció (AEMET):	0

Volum recollit (cm ³)					
150	110	110	70	105	120
160	190	160	90	80	130
140	170	190	100	60	110
170	190	110	80	70	120
200	185	100	60	100	160
130	110	80	70	110	140
120	120	90	80	110	150
120	140	120	80	80	120
100	150	120	80	60	80
140	130	120	70	80	160
170	150	110	60	140	200
150	150	100	70	130	150

Avaluació 8

<i>Característiques de l'assaig</i>					
Data	04/03/2019	Hora d'inici:	10:31	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A2.2			Vent mig (AEMET) (m/s)	2,59
Pressió mitja aspersors(kPa):	215	Hora final:	11:31	Direcció (AEMET):	OSO

Volum recollit (cm ³)					
210	170	120	80	120	110
135	180	150	60	80	140
140	160	150	50	60	110
170	180	60	50	110	160
170	120	60	60	160	170
120	100	80	80	150	140
150	140	110	80	120	150
100	150	130	70	60	120
110	140	120	50	50	110
140	150	80	50	110	185
170	120	50	60	180	210
150	120	70	80	180	160

Avaluació 9

Característiques de l'assaig					
Data	05/03/2019	Hora d'inici:	14:50	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A2.2			Vent mig (AEMET) (m/s)	0,93
Pressió mitja aspersors(kPa):	213	Hora final:	15:50	Direcció (AEMET):	E

Volum recollit (cm ³)					
170	140	130	120	140	120
160	140	120	120	160	140
130	140	120	100	120	150
120	140	120	90	120	150
150	140	110	100	150	120
160	130	90	130	160	140
150	130	100	130	160	140
180	140	90	105	160	180
150	150	100	85	120	180
150	160	110	90	120	150
180	150	110	110	140	150
170	140	120	130	140	120

Característiques de l'assaig					
Data	05/03/2019	Hora d'inici:	10:11	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A3.2			Vent mig (AEMET) (m/s)	1,35
Pressió mitja aspersors(kPa):	219	Hora final:	11:11	Direcció (AEMET):	NE

Volum recollit (cm ³)					
90	100	80	90	100	80
110	100	90	90	110	100
90	90	90	70	70	110
80	80	80	100	90	110
90	80	90	90	110	120
100	80	80	80	90	90
100	90	80	90	100	100
110	100	80	90	90	90
80	80	100	70	90	100
90	80	90	70	100	120
90	80	90	90	110	120
100	80	90	80	80	80

Avaluació 11

Característiques de l'assaig					
Data	05/03/2019	Hora d'inici:	11:38	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A3.2			Vent mig (AEMET) (m/s)	0,93
Pressió mitja aspersors(kPa):	219	Hora final:	12:38	Direcció (AEMET):	SE

Volum recollit (cm ³)					
110	110	100	80	90	80
90	90	100	80	80	80
70	80	90	100	100	100
70	70	90	120	110	110
80	80	100	90	90	100
110	100	110	90	80	90
110	110	110	80	70	90
110	90	100	90	80	100
70	70	90	110	90	110
90	70	120	110	110	110
100	80	90	90	90	90
100	110	110	90	70	80

Característiques de l'assaig					
Data	05/03/2019	Hora d'inici:	13:09	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A3.2			Vent mig (AEMET) (m/s)	0,93
Pressió mitja aspersors(kPa):	219	Hora final:	14:09	Direcció (AEMET):	SE

Volum recollit (cm ³)					
100	110	100	80	80	70
90	90	90	90	80	80
70	70	90	100	100	100
70	70	90	120	100	100
90	80	90	90	90	100
100	100	100	80	70	110
100	110	110	80	70	90
100	100	100	80	70	90
80	80	90	100	100	110
70	70	100	120	100	100
80	80	90	90	80	100
100	110	110	80	70	70

Avaluació 13

Característiques de l'assaig					
Data	06/03/2019	Hora d'inici:	10:22	Duració:	60 minuts
Model aspersor:	A3.2			Vent mig (AEMET) (m/s)	1,97
Pressió mitja aspersors(kPa):	216	Hora final:	11:22	Direcció (AEMET):	NE

Volum recollit (cm ³)					
90	100	100	80	100	90
110	90	80	90	100	100
90	80	80	80	80	80
70	70	70	110	100	100
90	70	80	100	120	100
80	70	80	90	80	80
90	100	100	80	90	80
90	100	90	90	80	100
70	70	100	80	80	100
70	70	90	130	90	110
80	80	110	100	130	130
90	90	90	90	80	80